

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of: )  
Isao NAKAJIMA, et al. )  
Serial No.: Not Yet Assigned )  
Filed: December 28, 2000 )



For: **SYSTEM AND METHOD FOR EQUALIZING TRANSMISSION  
CHARACTERISTICS IN WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING OPTICAL  
COMMUNICATION SYSTEM**

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. §1.55**

*Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231*

*Sir:*

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. §1.55, the applicant(s) submit(s)  
herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2000-058350  
Filed: March 3, 2000

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing  
date as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements  
of 35 U.S.C. §119.

Respectfully submitted,  
STAAS & HALSEY LLP

By: 

James D. Halsey, Jr.  
Registration No. 22,729

700 11th Street, N.W., Ste. 500  
Washington, D.C. 20001  
(202) 434-1500  
Date: 12/28/2000

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this office.

Date of Application: March 3, 2000

Application Number: Patent Application  
No. 2000-058350

Applicant(s): FUJITSU LIMITED

September 29, 2000

Commissioner,  
Patent Office Kozo Oikawa

Certificate No. 2000-3079672

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2000年 3月 3日

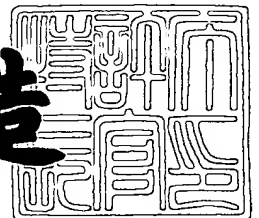
出 願 番 号  
Application Number: 特願2000-058350

出 願 人  
Applicant(s): 富士通株式会社

2000年 9月29日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3079672

【書類名】 特許願

【整理番号】 9902605

【提出日】 平成12年 3月 3日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04J 14/02

【発明の名称】 波長分割多重光通信システムにおける伝送特性均一化装置、及び伝送特性均一化方法

【請求項の数】 37

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 中島 功雄

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 原沢 伸一郎

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100074099

【住所又は居所】 東京都千代田区二番町8番地20 二番町ビル3F

【弁理士】

【氏名又は名称】 大菅 義之

【電話番号】 03-3238-0031

【選任した代理人】

【識別番号】 100067987

【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区北寺尾7-25-28-503

【弁理士】

【氏名又は名称】 久木元 彰

【電話番号】 045-545-9280

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705047

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波長分割多重光通信システムにおける伝送特性均一化装置、及び伝送特性均一化方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長分割多重光通信システムにおける送信局と受信局間の光伝送路中に配置された、透過波長特性を可変制御可能な 1 以上の可変光フィルタと

前記光伝送路を伝搬された光信号の各波長の伝送特性を測定する伝送特性測定手段と、

該伝送特性測定手段での測定結果に基づき、前記送信局のプリエンファシスと前記可変光フィルタの透過波長特性とを制御することにより、前記伝送特性を均一化する伝送特性制御手段と、

を備えることを特徴とする伝送特性均一化装置。

【請求項 2】 前記伝送特性制御手段は、前記送信局のプリエンファシスの制御量と前記可変光フィルタの透過波長特性の制御量との最適な配分を算出し、該最適な配分に従って前記プリエンファシス及び前記透過波長特性を制御することにより前記伝送特性を均一化かつ最適化することを特徴とする請求項 1 記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 3】 前記伝送特性制御手段は、まず前記可変光フィルタの透過波長特性のみを制御して前記伝送特性を一旦均一化し、続いて、該均一化された際の前記可変光フィルタの透過波長特性を基準にして前記最適な配分を算出し、該最適な配分に従い前記可変光フィルタの透過波長特性と前記送信局のプリエンファシスの両方を制御して前記伝送特性を均一化かつ最適化することを特徴とする請求項 2 記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 4】 前記伝送特性測定手段は、前記伝送特性として、互いに相関関係にある第 1 及び第 2 の伝送特性値を測定し、

前記伝送特性制御手段は、まず前記可変光フィルタの透過波長特性のみを制御して、前記第 1 の伝送特性値を等化すると共に該等化された第 1 の伝送特性値を基準にして前記第 2 の伝送特性値を一旦等化し、続いて、該一旦等化された際の

前記可変光フィルタの透過波長特性を基準にして前記最適な配分を算出し、該最適な配分に従い前記可変光フィルタの透過波長特性と前記送信局のプリアンファシスの両方を制御して前記第 2 の伝送特性値を等化することを特徴とする請求項 3 記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 5】前記伝送特性制御手段において前記可変光フィルタの透過波長特性のみを制御して前記第 2 の伝送特性値を一旦等化する処理は、まず、各波長毎に、前記可変光フィルタの透過量を減少させて前記第 1 の伝送特性値を小さくすることにより前記第 2 の伝送特性値を所定の目標値まで一旦下げた後、前記可変光フィルタの等化量を元に戻して前記第 1 の伝送特性値を初期値にし、その際の前記第 1 の伝送特性値の変化幅を求め、続いて、全ての波長における該第 1 の伝送特性値の変化幅の平均値を求め、その後、各波長毎に前記可変光フィルタの透過量を調整して該第 1 の伝送特性値を前記平均値と前記変化幅との差分だけ変化させることにより前記第 2 の伝送特性値を等化する処理であることを特徴とする請求項 4 記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 6】前記伝送特性制御手段において前記最適な配分を算出する処理は、前記基準となる前記可変光フィルタの透過波長特性を 100%として、その割合を徐々に減少させる毎に、前記送信局のプリアンファシスを制御して前記第 2 の伝送特性値を等化し、該等化された第 2 の伝送特性値の全波長についての平均値を算出し、該平均値が最大である時の前記割合を前記最適な配分とする処理であることを特徴とする請求項 4 記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 7】前記伝送特性制御手段において前記送信局のプリアンファシスを制御して前記第 2 の伝送特性値を等化する処理は、まず、前記プリアンファシスを制御して前記第 1 の伝送特性値を等化した後、各波長毎に、前記プリアンファシス量を調整して前記第 1 の伝送特性値を小さくすることにより前記第 2 の伝送特性値を所定の目標値まで一旦下げた後、前記プリアンファシス量を元に戻して前記第 1 の伝送特性値を初期値にし、その際の前記第 1 の伝送特性値の変化幅を求め、続いて、全ての波長における該第 1 の伝送特性値の変化幅の平均値を求め、その後、各波長毎に前記プリアンファシス量を調整して該第 1 の伝送特性値を前記平均値と前記変化幅との差分だけ変化させることにより前記第 2 の伝送

特性値を等化する処理であることを特徴とする請求項 6 記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 8】前記伝送特性制御手段は、前記システムの運用前に前記最適な配分を算出しておき、前記システムの運用中に該最適な配分に従って前記プリアンファシス及び前記透過波長特性を制御することにより前記伝送特性を均一化かつ最適化することを特徴とする請求項 4 乃至 7 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 9】前記伝送特性制御手段において前記システムの運用中に前記最適な配分に従って前記プリアンファシス及び前記透過波長特性を制御する処理は、まず、各波長毎に、前記プリアンファシス量又は前記透過波長特性を調整して前記第 1 の伝送特性値を小さくすることにより前記第 2 の伝送特性値を所定の目標値まで一旦下げてから、前記プリアンファシス量又は前記透過波長特性を元に戻して前記第 1 の伝送特性値を初期値にし、その際の前記第 1 の伝送特性値の変化幅を求め、続いて、全ての波長における該第 1 の伝送特性値の変化幅の平均値を求め、その後、各波長毎に前記透過波長特性を調整して前記平均値と前記変化幅との差分のうち前記最適な配分に従った量だけ前記第 1 の伝送特性値を変化させると共に、各波長毎に前記プリアンファシス量を調整して前記平均値と前記変化幅との差分のうち前記最適な配分に従った量だけ前記第 1 の伝送特性値を更に変化させることにより、前記第 2 の伝送特性値を等化する処理であることを特徴とする請求項 8 記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 10】前記透過波長特性の制御量と前記プリアンファシスの制御量との前記最適な配分を表す比を  $X$  対 “ $1 - X$ ” とすると、該最適な配分に従った前記透過波長特性の制御による前記第 1 の伝送特性値の変化量は前記差分と前記  $X$  との積であり、該最適な配分に従った前記プリアンファシスの制御による前記第 1 の伝送特性値の変化量は前記差分と前記 “ $1 - X$ ” との積であることを特徴とする請求項 9 記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 11】前記所定の目標値は、前記システムによって規定される前記第 2 の伝送特性値の最低値である請求項 5、7、又は 9 記載の伝送特性均一化装置。



【請求項 1 2】前記第 1 の伝送特性値が光信号雑音比（O S N R）であり、前記第 2 の伝送特性値が Q 値であることを特徴とする請求項 4 乃至 1 1 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 1 3】前記第 1 の伝送特性値が光信号雑音比（O S N R）であり、前記第 2 の伝送特性値がビット誤り率（B E R）であることを特徴とする請求項 4 乃至 1 1 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 1 4】前記伝送特性測定手段は前記受信局内に設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 3 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 1 5】前記伝送特性制御手段は前記受信局内に設けられ、該受信局側で、前記送信局のプリエンファシス及び前記可変光フィルタの透過波長特性を制御することを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 1 6】前記伝送特性制御手段は前記送信局内に設けられ、該送信局側で、該送信局のプリエンファシス及び前記可変光フィルタの透過波長特性を制御することを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 1 7】前記送信局のプリエンファシスの制御は、オーバーヘッド信号、主信号振幅に重畳された制御信号、及び制御専用信号のうちのいずれか 1 つにより行われることを特徴とする請求項 1 乃至 1 6 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 1 8】前記可変光フィルタの透過波長特性の制御は、オーバーヘッド信号、主信号振幅に重畳された制御信号、及び制御専用信号のうちのいずれか 1 つにより行われることを特徴とする請求項 1 乃至 1 6 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化装置。

【請求項 1 9】（a）波長分割多重光通信システムにおける送信局と受信局間の光伝送路中に、透過波長特性を可変制御可能な 1 以上の可変光フィルタを配置し、

（b）前記光伝送路を伝搬された光信号の各波長の伝送特性を測定し、

（c）該伝送特性の測定結果に基づき、前記送信局のプリエンファシスと前記

可変光フィルタの透過波長特性とを制御することにより、前記伝送特性を均一化する、

ことを特徴とする伝送特性均一化方法。

【請求項 2 0】前記（c）では、前記送信局のプリエンファシスの制御量と前記可変光フィルタの透過波長特性の制御量との最適な配分を算出し、該最適な配分に従って前記プリエンファシス及び前記透過波長特性を制御することにより前記伝送特性を均一化かつ最適化することを特徴とする請求項 1 9 記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 2 1】前記（c）では、まず前記可変光フィルタの透過波長特性のみを制御して前記伝送特性を一旦均一化し、続いて、該均一化された際の前記可変フィルタの透過波長特性を基準にして前記最適な配分を算出し、該最適な配分に従い前記可変光フィルタの透過波長特性と前記送信局のプリエンファシスの両方を制御して前記伝送特性を均一化かつ最適化することを特徴とする請求項 2 0 記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 2 2】前記（b）では、前記伝送特性として、互いに相関関係にある第 1 及び第 2 の伝送特性値を測定し、

前記（c）では、まず前記可変光フィルタの透過波長特性のみを制御して、前記第 1 の伝送特性値を等化すると共に該等化された第 1 の伝送特性値を基準にして前記第 2 の伝送特性値を一旦等化し、続いて、該一旦等化された際の前記可変光フィルタの透過波長特性を基準にして前記最適な配分を算出し、該最適な配分に従い前記可変光フィルタの透過波長特性と前記送信局のプリエンファシスの両方を制御して前記第 2 の伝送特性値を等化することを特徴とする請求項 2 1 記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 2 3】前記（c）において前記可変光フィルタの透過波長特性のみを制御して前記第 2 の伝送特性値を一旦等化する処理は、まず、各波長毎に、前記可変光フィルタの透過量を減少させて前記第 1 の伝送特性値を小さくすることにより前記第 2 の伝送特性値を所定の目標値まで一旦下げてから、前記可変光フィルタの透過量を元に戻して前記第 1 の伝送特性値を初期値にし、その際の前記第 1 の伝送特性値の変化幅を求め、続いて、全ての波長における該第 1 の伝送特

性値の変化幅の平均値を求め、その後、各波長毎に前記可変光フィルタの透過量を調整して該第 1 の伝送特性値を前記平均値と前記変化幅との差分だけ変化させることにより前記第 2 の伝送特性値を等化する処理であることを特徴とする請求項 2 2 記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 2 4】前記（c）において前記最適な配分を算出する処理は、前記基準となる前記可変フィルタの透過波長特性を 1 0 0 % として、その割合を徐々に減少させる毎に、前記送信局のプリアンファシスを制御して前記第 2 の伝送特性値を等化し、該等化された第 2 の伝送特性値の全波長についての平均値を算出し、該平均値が最大である時の前記割合を前記最適な配分とする処理であることを特徴とする請求項 2 2 記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 2 5】前記（c）において前記送信局のプリアンファシスを制御して前記第 2 の伝送特性値を等化する処理は、まず、前記プリアンファシスを制御して前記第 1 の伝送特性値を等化した後、各波長毎に、前記プリアンファシス量を調整して前記第 1 の伝送特性値を小さくすることにより前記第 2 の伝送特性値を所定の目標値まで一旦下げた後、前記プリアンファシス量を元に戻して前記第 1 の伝送特性値を初期値にし、その際の前記第 1 の伝送特性値の変化幅を求め、続いて、全ての波長における該第 1 の伝送特性値の変化幅の平均値を求め、その後、各波長毎に前記プリアンファシスを調整して該第 1 の伝送特性値を前記平均値と前記変化幅との差分だけ変化させることにより前記第 2 の伝送特性値を等化する処理であることを特徴とする請求項 2 2 記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 2 6】前記（c）では、前記システムの運用前に前記最適な配分を算出しておき、前記システムの運用中に該最適な配分に従って前記プリアンファシス及び前記透過波長特性を制御することにより前記伝送特性を均一化かつ最適化することを特徴とする請求項 2 2 乃至 2 5 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 2 7】前記（c）において前記システムの運用中に前記最適な配分に従って前記プリアンファシス及び前記透過波長特性を制御する処理は、まず、各波長毎に、前記プリアンファシス量又は前記透過波長特性を調整して前記第 1 の伝送特性値を小さくすることにより前記第 2 の伝送特性値を所定の目標値まで

一旦下げてから、前記プリアンファシス量又は前記等化波長特性を元に戻して前記第 1 の伝送特性値を初期値にし、その際の前記第 1 の伝送特性値の変化幅を求め、続いて、全ての波長における該第 1 の伝送特性値の変化幅の平均値を求め、その後、各波長毎に前記透過波長特性を調整して前記平均値と前記変化幅との差分のうち前記最適な配分に従った量だけ前記第 1 の伝送特性値を変化させると共に、各波長毎に前記プリアンファシス量を調整して前記平均値と前記変化幅との差分のうち前記最適な配分に従った量だけ前記第 1 の伝送特性値を更に変化させることにより、前記第 2 の伝送特性値を等化する処理であることを特徴とする請求項 2 6 記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 2 8】前記透過波長特性の制御量と前記プリアンファシスの制御量との前記最適な配分を表す比を  $X$  対 “ $1 - X$ ” とすると、該最適な配分に従った前記透過波長特性の制御による前記第 1 の伝送特性値の変化量は前記差分と前記  $X$  との積であり、該最適な配分に従った前記プリアンファシスの制御による前記第 1 の伝送特性値の変化量は前記差分と前記 “ $1 - X$ ” との積であることを特徴とする請求項 2 7 記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 2 9】前記所定の目標値は、前記システムによって規定される前記第 2 の伝送特性値の最低値である請求項 2 3、2 5、又は 2 7 記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 3 0】前記第 1 の伝送特性値が光信号雑音比（OSNR）であり、前記第 2 の伝送特性値が Q 値であることを特徴とする請求項 2 2 乃至 2 9 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 3 1】前記第 1 の伝送特性値が光信号雑音比（OSNR）であり、前記第 2 の伝送特性値がビット誤り率（BER）であることを特徴とする請求項 2 2 乃至 2 9 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 3 2】前記（b）における前記測定は、前記受信局側で行うことを特徴とする請求項 1 9 乃至 3 1 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 3 3】前記（c）における前記送信局のプリアンファシス及び前記可変光フィルタの透過波長特性の制御は、前記受信局側で行うことを特徴とする請求項 1 9 乃至 3 2 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 3 4】前記（c）における前記送信局のプリエンファシス及び前記可変光フィルタの透過波長特性の制御は、前記送信局側で行うことを特徴とする請求項 1 9 乃至 3 2 のいずれか 1 つに記載の伝送特性均一化方法。

【請求項 3 5】波長分割多重光通信システムにおける送信局と受信局間の光伝送路中に配置され、

前記光伝送路を伝搬された光信号の各波長の伝送特性が測定され、この測定結果に基づいて、前記伝送特性を均一にするように前記送信局のプリエンファシスされた時、同様に透過波長特性が制御される可変光フィルタ。

【請求項 3 6】波長分割多重光通信システムにおける送信局と受信局間の光伝送路中に透過波長特性を可変制御可能な 1 以上の可変光フィルタが配置された時、

前記光伝送路を伝搬された光信号の各波長の伝送特性を測定する伝送特性測定手段と、前記伝送特性測定手段の測定結果に基づき、前記送信局のプリエンファシスと前記可変光フィルタの透過波長特性とを制御することにより前記伝送特性を均一化する伝送特性制御手段とを設けた受信局。

【請求項 3 7】波長分割多重光通信システムにおける送信局と受信局間の光伝送路中に透過波長特性を可変制御可能な 1 以上の可変光フィルタが配置され、

前記光伝送路を伝搬された光信号の各波長の伝送特性を測定する時、

この測定結果に基づき、前記送信局のプリエンファシスと前記可変光フィルタの透過波長特性とを制御することにより前記伝送特性を均一化する伝送特性制御手段とを設けた送信局。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長分割多重光通信システムにおける、その伝送特性の均一化と最適化を行う装置及び方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

高速ネットワークの中核技術として、波長分割多重（WDM：Wavelength Div

ision Multiplexing) を、多くの事業者が採用し始めている。波長分割多重は、波長の異なる複数の搬送波を使用して、複数のデータを一心の光ファイバ・ケーブルに多重する方式であり、波長の異なる光ビームは互いに干渉しないという性質を利用している。

#### 【 0 0 0 3 】

このようなWDMを用いた光通信システムにおいて、その伝送特性は、光信号のOSNR (Optical Signal to Noise Ratio : 光信号雑音比 ; 光SN比) やQ値 (Q-factor) 等として観測できる。

#### 【 0 0 0 4 】

ここで、伝送特性の新たな評価指標としてQ値が導入された背景について説明する。インターネットを代表とする近年の通信の大容量化に伴い、国際間の通信容量も増加の一途を辿っている。これに伴い、太平洋海底ケーブル、大西洋海底ケーブルなど、世界各地において、光海底ケーブルが盛んに敷設されるようになってきている。

#### 【 0 0 0 5 】

近來の光海底ケーブルシステムは、それ以前のシステムとは異なり、エルビウムドープファイバ増幅器 (EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier) を使用し、光電変換を行うことなく、全光中継による長距離大容量通信を実現している。EDFAによる中継方式は、リタイミング (retiming) 動作を含まず、光信号を直接増幅する非線形増幅動作のみであるため、通信速度の制限が少なく、自由度の高いものとなり、高速化が比較的容易なシステムとなる。その反面、リタイミング動作を含まないため、各段で生成された雑音は除去されず、後段に影響を及ぼす。このため、EDFA等を用いた光ファイバ増幅方式による光通信システムの信頼性の評価を困難なものとしている。

#### 【 0 0 0 6 】

また、光ファイバ増幅器各段での雑音の増加は僅かであり、今までのように、単にBER (Bit Error Rate : ビット誤り率) を測定するだけでは、その影響の度合いを判定できなかった。このため、Q値の測定が提唱された。

#### 【 0 0 0 7 】

Q 値とは、雑音信号をガウス雑音と仮定したデジタル信号における信号対雑音比 (Signal to Noise Ratio) であり、デジタル信号の信号振幅 ( $\mu$ ) と雑音振幅の実効値 ( $\sigma$ ) で表され、下記の式 (1) によって定義される。

【0008】

$$Q = A b s (\mu 1 - \mu 0) / (\sigma 1 + \sigma 0) \quad (1)$$

ここで、 $A b s (\mu 1 - \mu 0)$  は  $\mu 1 - \mu 0$  の絶対値を表している。

波長分割多重光通信システムにおいては、各チャネルでの伝送特性が均一化されていることが望ましい。しかしながら、実際のシステムでは、各チャネルでの伝送特性の劣化状態が異なるため、送信局側で各チャネルのパワーを一致させて送出しても、受信局側で受信する各チャネルのパワーにはバラツキが有り、伝送特性は均一化されない。また、伝送特性は経時的にも変化する。このため、送信局側で、プリアンファシスの設定を行う必要があった。尚、プリアンファシスとは、各チャネルの光信号の受信時の S N R (Signal to Noise Ratio) が等しくなるように、送信局側で、各チャネルの光信号のパワーの強弱を制御する操作のことである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

従来技術では、伝送特性を均一化するために、端局でのプリアンファシスに依存するところが大きかった。しかし、プリアンファシス量には上限値 (プリアンファシスに許容される最大光信号パワー値と最小光信号パワー値の差分) があり、これを超えると、非線形効果による伝送特性の劣化、端局内での O S N R の劣化等が懸念される。その結果、制限されたプリアンファシス量の下で、システムの伝送特性を一定基準以上に保証するためには、中継器等の設計等で非常に厳しい規格を設けざるを得なくなっている。

【0010】

特に、海底光ファイバ通信システムのように、今後、長距離化・高速化が進展するシステムにおいては、プリアンファシス量の制限や中継器の設計規格が更に厳しくなり、従来のプリアンファシスのみによる伝送特性等化制御だけでは、システムの要求性能を満たすことができなくなってくると予想される。

## 【 0 0 1 1 】

中継器内では、E D F (Erbium Doped Fiber : エルビウムドープファイバ) と L P G (Long Period Grating : 長周期グレーティング) によって利得の等価を図っている。しかし、E D F と L P G の製造誤差のために、完全に利得を等価できない。そこで、数十台の中継器毎に、透過波長特性 (透過率の波長特性) を可変制御して利得の等価を行う必要がある。しかしながら、従来では、そのような可変制御を行わずに、予め用意しておいた数種の固定的な透過波長特性の光フィルタの中から選択するようにしていた。しかしながら、このようなシステムでは、柔軟に利得等価に対応することはできなかった。

## 【 0 0 1 2 】

ところで、最近、プリエンファシスのみによる伝送特性等化よりも、可変フィルタとプリエンファシスを併用した伝送特性等化の方が、品質の高い伝送特性が得られることが分かってきている (T.Naito et al., "Active Gain Slope Compensation in Large-Capacity, in Large-Capacity, Long-Haul WDM Transmission System", OAA'99, WC5-3, 1999 参照)。

## 【 0 0 1 3 】

本発明は、上記従来の問題点に鑑み、WDM光通信システムにおいて、プリエンファシスへの負担を軽減しつつ、伝送特性を有効に均一化かつ最適化して、一層高品質な伝送品質を実現することのできる伝送特性均一化装置及び方法を提供することを課題とする。

## 【 0 0 1 4 】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の伝送特性均一化装置は、WDM光通信システムに適用されるものであって、少なくとも、可変光フィルタと、伝送特性測定手段と、伝送特性制御手段とを備えて構成される。

## 【 0 0 1 5 】

上記可変光フィルタは、透過波長特性を可変制御可能な光フィルタであって、送信局と受信局間の光伝送路中に、必要に応じて1つ以上配置される。例えば、光伝送路が極めて長距離にわたって施設されており、その中に多くの中継器が配



置られるようなシステムにおいては、幾つかの中継器毎に上記可変光フィルタを配置するようにすることが望ましい。

## 【 0 0 1 6 】

上記伝送特性測定手段は、上記光伝送路を伝搬された光信号の各波長の伝送特性を測定する手段である。その配置箇所は、伝搬された光信号の伝送特性を測定可能な地点であればどこでもよく、原理的には中継器内であってもよいが、制御の容易性や測定精度等を考えれば受信局内が最も望ましい。

## 【 0 0 1 7 】

上記伝送特性制御手段は、上記伝送特性測定手段での測定結果に基づき、伝送特性を均一化すべく送信局のプリアンファシスと上記可変光フィルタの透過波長特性の両方を適宜制御する手段である。その配置箇所は、送信局や可変光フィルタに対して各制御信号を適宜送ることの可能な地点であればどこでもよいが、送信局内か受信局内が望ましい。例えば、伝送特性制御手段を送信局内に設けた場合は、送信局側を主とし、受信局側及び可変光フィルタ側を従とする制御が可能である。一方、伝送特性制御手段を受信局内に設けた場合は、受信局側を主とし、送信局側及び可変光フィルタ側を従とする制御が可能である。

## 【 0 0 1 8 】

このような構成からなる本発明の伝送特性均一化装置によれば、送信局のプリアンファシスを制御するだけでなく、光伝送路中に配置した可変光フィルタの透過波長特性をも制御するようにしたので、伝送特性の均一化を図る上で、これまでプリアンファシスのみに加わっていた負担が有効に軽減されることになる。しかも、送信局のプリアンファシスと可変光フィルタの透過波長特性の両方を制御可能とすることにより、プリアンファシスのみによる場合と比べ、より高品質の伝送特性が得られる。

## 【 0 0 1 9 】

以下に、本発明の伝送特性均一化装置の一層望ましい形態、及び一層具体的な形態について説明する。

(1) 上記伝送特性制御手段は、伝送特性の均一化を図る際、予め、送信局のプリアンファシスの制御量と可変光フィルタの透過波長特性の制御量との“最適

な配分”（すなわち、プリアンファシス制御と透過波長特性制御とを実行する上で、それぞれの担当する比重が最適となるような配分）を算出しておき、この最適な配分に従ってプリアンファシス及び透過波長特性をそれぞれ制御することが望ましい。このようにすることで、伝送特性を均一化できるだけでなく、最適な伝送特性が得られるようになる。

【 0 0 2 0 】

（２）上記（１）において、上記“最適な配分”を算出するには、例えば、まず可変光フィルタの透過波長特性のみを制御して伝送特性を一旦均一化し、続いて、この均一化された際の可変光フィルタの透過波長特性を基準にして“最適な配分”を算出するようにする。

【 0 0 2 1 】

勿論、そのようにする代わりに、まず送信局のプリアンファシス制御のみを制御して伝送特性を一旦均一化し、続いて、この均一化された際のプリアンファシス量を基準にして“最適な配分”を算出するようにしてもよい。

【 0 0 2 2 】

（３）上記（２）において、均一化及び最適化のより具体的な手段としては、例えば、伝送特性測定手段が、伝送特性として、互いに相関関係にある第１及び第２の伝送特性値を測定するようにし、一方、伝送特性制御手段は、まず可変光フィルタの透過波長特性のみを制御して、第１の伝送特性値を等化すると共にこの等化された第１の伝送特性値を基準にして第２の伝送特性値を一旦等化し、続いて、この一旦等化された際の可変光フィルタの透過波長特性を基準にして最適な配分を算出し、この最適な配分に従い可変光フィルタの透過波長特性と送信局のプリアンファシスの両方を制御して第２の伝送特性値を等化するようにする。

【 0 0 2 3 】

（４）上記（３）において、可変光フィルタの透過波長特性のみを制御して第２の伝送特性値を一旦等化する処理は、具体的には、例えば、まず各波長毎に、可変光フィルタの透過量を減少させて第１の伝送特性値を小さくすることにより第２の伝送特性値を所定の目標値まで一旦下げてから、可変光フィルタの透過量を元に戻して第１の伝送特性値を初期値にし、その際の第１の伝送特性値の変化

幅を求め、続いて、全ての波長における第 1 の伝送特性値の変化幅の平均値を求め、その後、各波長毎に可変光フィルタの透過量を調整して第 1 の伝送特性値を上記平均値と上記変化幅との差分だけ変化させることにより第 2 の伝送特性値を等化する処理である。

【 0 0 2 4 】

(5) 上記 (3) において、最適な配分を算出する処理は、具体的には、例えば、上記基準となる可変光フィルタの透過波長特性を 1 0 0 % として、その割合を徐々に減少させる毎に、送信局のプリエンファシスを制御して第 2 の伝送特性値を等化し、この等化された第 2 の伝送特性値の全波長についての平均値を算出し、この平均値が最大である時の割合を最適な配分とする処理である。

【 0 0 2 5 】

(6) 上記 (5) において、送信局のプリエンファシスを制御して第 2 の伝送特性値を等化する処理は、具体的には、例えば、まずプリエンファシスを制御して第 1 の伝送特性値を等化した後、各波長毎に、プリエンファシス量を調整して第 1 の伝送特性値を小さくすることにより第 2 の伝送特性値を所定の目標値まで一旦下げてから、プリエンファシス量を元に戻して第 1 の伝送特性値を初期値にし、その際の第 1 の伝送特性値の変化幅を求め、続いて、全ての波長における第 1 の伝送特性値の変化幅の平均値を求め、その後、各波長毎にプリエンファシス量を調整して第 1 の伝送特性値を上記平均値と上記変化幅との差分だけ変化させることにより第 2 の伝送特性値を等化する処理である。

【 0 0 2 6 】

(7) 上記 (3) ~ (6) において、上記伝送特性制御手段は、例えば、システムの運用前に上記最適な配分を算出しておき、システムの運用中に、この最適な配分に従ってプリエンファシス及び透過波長特性を制御することにより伝送特性を均一化かつ最適化することが望ましい。

【 0 0 2 7 】

(8) 上記 (7) において、システムの運用中に上記最適な配分に従ってプリエンファシス及び透過波長特性を制御する処理は、具体的には、例えば、まず各波長毎に、プリエンファシス量又は透過波長特性を調整して第 1 の伝送特性値を

小さくすることにより第2の伝送特性値を所定の目標値まで一旦下げた後、プリアンファシス量又は等化波長特性を元に戻して第1の伝送特性値を初期値にし、その際の第1の伝送特性値の変化幅を求め、続いて、全ての波長における第1の伝送特性値の変化幅の平均値を求め、その後、各波長毎に透過波長特性を調整して上記の平均値と変化幅との差分のうち上記最適な配分に従った量だけ第1の伝送特性値を変化させると共に、各波長毎にプリアンファシス量を調整して上記の平均値と変化幅との差分のうち上記最適な配分に従った量だけ第1の伝送特性値を更に変化させることにより、第2の伝送特性値を等化する処理である。

## 【 0 0 2 8 】

(9) 上記(8)において、透過波長特性の制御量とプリアンファシスの制御量との最適な配分を表す比を例えばX対“1-X”とすると、この最適な配分に従った透過波長特性の制御による第1の伝送特性値の変化量は上記差分とXとの積として表現でき、また、最適な配分に従ったプリアンファシスの制御による第1の伝送特性値の変化量は上記差分と“1-X”との積として表現できる。

## 【 0 0 2 9 】

(10) 上記の所定の目標値としては、例えば、システムによって規定される第2の伝送特性値の最低値を採用可能である。

(11) 上記第1の伝送特性値としてはOSNR（光SN比）が考えられ、上記第2の伝送特性値としてはQ値が考えられる。また、これに限らず、例えば、第1の伝送特性値がOSNRであって、第2の伝送特性値がBER（ビット誤り率）であってもよい。

## 【 0 0 3 0 】

(12) 送信局のプリアンファシスの制御や可変光フィルタの透過波長特性の制御は、各種信号により実行可能である。そのような信号としては、例えば、オーバーヘッド信号、主信号振幅に重畳された制御信号、制御専用信号等を採用可能である。

## 【 0 0 3 1 】

次に、本発明の伝送特性均一化方法は、WDM光通信システムに適用されるものであって、少なくとも、以下の(a)～(c)のステップを備えて構成される

【 0 0 3 2 】

(a) 送信局と受信局間の光伝送路中に、透過波長特性を可変制御可能な 1 以上の可変光フィルタを配置する。

(b) 上記光伝送路を伝搬された光信号の各波長の伝送特性を測定する。

【 0 0 3 3 】

(c) この伝送特性の測定結果に基づき、上記送信局のプリアンファシスと上記可変光フィルタの透過波長特性とを制御することにより、上記伝送特性を均一化する。

【 0 0 3 4 】

このような構成からなる本発明の伝送特性均一化方法によっても、上述した本発明の伝送特性均一化装置と同様な作用・効果が得られ、かつ、同様な態様・具体例が考えられる。

【 0 0 3 5 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施の形態について説明する。

図 1 は、本発明の一実施の形態を適用した WDM 光通信システムの全体構成を示す模式図である。

【 0 0 3 6 】

同図に示すように、このシステムは、端局として、送信局 1 1 と受信局 1 2 が設置され、これらの送信局 1 1 と受信局 1 2 の間に、光伝送路としての光ファイバ 2 1、 $m$  個の中継器 2 2 (2 2 - 1 ~ 2 2 -  $m$ )、 $n$  個の可変光フィルタ 2 3 (2 3 - 1 ~ 2 3 -  $n$ ) を備えて構成されている。

【 0 0 3 7 】

可変光フィルタ 2 3 は、透過波長特性を可変制御可能な光フィルタである。同図において、 $n$  個の可変光フィルタ 2 3 の透過波長特性の一例が、可変光フィルタ 2 3 - 1、2 3 -  $n$  の下方に示されており、これら  $n$  個の可変光フィルタ 2 3 の透過波長特性は同一に制御される。これら可変光フィルタ 2 3 としては、例えば、AOTF (Acousto-Optic Tunable Filter : 音響光学可変フィルタ) や、磁

気光学効果（可変ファラデー回転子）と光学膜の偏光特性を利用した可変光フィルタ等を採用可能である。

#### ＜第 1 の実施例＞

図 2 及び図 3 は、図 1 のシステムに適用された本発明の第 1 の実施例の全体動作を概略的に説明する概念図であって、図 2 は受信局 1 2 a が送信局 1 1 a のプリエンファシスを制御する動作を説明する図、図 3 は受信局 1 2 a が送信局 1 1 a を介して可変光フィルタ 2 3 を制御する動作を説明する図である。この第 1 の実施例では、受信局 1 2 a が主局、送信局 1 1 a が従局となっている。尚、図 2 においては、可変光フィルタ 2 3 を図示省略してある。以下に、各制御について、簡単に説明する。

##### （A）送信局のプリエンファシスの制御（図 2）

受信局 1 2 a は、伝送特性測定手段及び伝送特性制御手段としての機能を備える測定部 5 1 を有しており、この測定部 5 1 で、受信した光信号の O S N R 及び Q 値を測定して解析し、その結果に基づき、O S N R 及び Q 値のバラツキをなくすように、光ファイバ 3 1（対回線）を介して、プリエンファシス制御信号を送信局 1 1 a に送出する（プリエンファシス制御）。

##### 【 0 0 3 8 】

このプリエンファシス制御信号としては、例えば、図 7（a）に示すようなオーバーヘッド信号を利用する。尚、この図 7（a）に示す信号は、S D H（Synchronous Digital Hierarchy）の S T M（Synchronous Transport Module）- n（n = 1、4、16、64、・・・）のフレーム・フォーマットであり、このオーバーヘッド信号は S O H（Section Over Head）である。

##### 【 0 0 3 9 】

送信局 1 1 a は、上記プリエンファシス制御信号を受信すると、コントローラ 4 1 の制御により、プリエンファシス制御部 4 2 においてプリエンファシス制御を行い、受信局 1 2 a に光ファイバ 3 2 を介して、応答信号を送出する。この応答信号は、送信局 1 1 a が実施したプリエンファシス制御に関する信号であり、具体的には、例えば、各チャネルの光信号の強度をどのように設定したか等の情報を含んでいる。

## (B) 可変光フィルタの透過波長特性の制御 (図 3)

受信局 1 2 a は、受信した信号の O S N R 及び Q 値を測定部 5 1 において測定し、今度は、O S N R 及び Q 値のバラツキをなくすように、光ファイバ 3 1 を介して、可変光フィルタ 2 3 の制御信号 (フィルタ制御信号) を送信局 1 1 a へ送出する (可変フィルタ制御)。送信局 1 1 a は、受信したフィルタ制御信号を光ファイバ 3 2 を介して可変光フィルタ 2 3 に送出する。可変光フィルタ 2 3 では、送られてきたフィルタ制御信号に従って透過波長特性が制御される。このフィルタ制御信号も、例えば図 7 (a) に示すように、オーバーヘッドに含ませて送出する。

## 【 0 0 4 0 】

以上のように、受信局 1 2 a での受信信号の伝送特性 (O S N R、Q 値) の測定結果を基に、送信局 1 1 a のプリアンファシスを制御すると共に、可変光フィルタ 2 1 の透過波長特性を制御することにより、図 1 に示す WDM 光通信システムにおける伝送特性の均一化及び最適化を行う。なお、これらの制御の詳細については、後述する。

## 【 0 0 4 1 】

次に、以上に示した可変光フィルタ 2 3、送信局 1 1 a、及び受信局 1 2 a の各構成例を、図 4 ~ 図 6 を用いて説明する。

図 4 は、図 3 に示した可変光フィルタ 2 3 の一構成例を示す図である。

## 【 0 0 4 2 】

この可変光フィルタ 2 3 は、フィルタ部 2 3 1、コントローラ 2 3 2、フォトダイオード (PD) 2 3 3、及び光カプラ (CPL) 2 3 4 を備えて構成される。ここで、フィルタ部 2 3 1 は、コントローラ 2 3 2 の制御に従って透過波長特性が変化するフィルタである。

## 【 0 0 4 3 】

送信局 1 1 a からは、主信号と共にフィルタ制御信号が光ファイバ 3 2 を介して可変光フィルタ 2 3 に送られてくる。光カプラ 2 3 4 は、光ファイバ 3 2 の途中に配置されており、光ファイバ 3 2 を伝搬されてきた光信号のうち、主信号をフィルタ部 2 3 1 に、フィルタ制御信号をフォトダイオード 2 3 3 に、それぞれ

分岐出力する。

【0044】

フォトダイオード233は、上記フィルタ制御信号を受光して光電変換し、電気信号となったフィルタ制御信号をコントローラ232に出力する。コントローラ232は、入力したフィルタ制御信号に従ってフィルタ部231の透過波長特性を変化させる。すると、フィルタ部231からは、ここに入力した光信号が上記の制御された透過波長特性に従って出力され、その後、光ファイバ32を介して受信局12aに送信される。

【0045】

図5は、図2及び図3に示した送信局11aの一構成例を示す図である。なお、この構成例では、送信局11aが、 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda n$ のn個の波長の光信号を多重化して、光ファイバ32上に送出するものとする。

【0046】

図5において、ブロック110（110-1）は、波長が $\lambda 1$ の光信号を生成し、この光信号にプリエンファシス制御を施した後に、AWG（Arrayed Waveguide Grating：導波路型格子アレイ）111に出力する部分であり、FEC（Forward Error Correction：前進型誤信号訂正）付OS（Optical Sender：光送信器）110a、POST-AMP（後置増幅器）110b、及びATT（Attenuator：光減衰器）110cを備えている。

【0047】

ここで、FEC付OS110aは、波長が $\lambda 1$ の光信号を生成し、それをFECを施した後にPOST-AMP110bに出力する。POST-AMP110bは、この波長 $\lambda 1$ の光信号を増幅してATT110cに出力する。ATT110cは、コントローラ41からの制御命令により、入力される波長 $\lambda 1$ の光信号の強度（パワー）を弱める等の制御を行い、この制御後の波長 $\lambda 1$ の光信号をAWG111に出力する。

【0048】

図5においては図示していないが、ブロック110は各波長毎に全部でn個存在しており、すなわち、上記ブロック100-1の他にも、これと同様な構成の



( $n-1$ ) 個のブロック 1 1 0 - 2、 $\dots$ 、1 1 0 -  $n$  が設けられており、それぞれ、波長  $\lambda_2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の光信号を生成し、いずれも AWG 1 1 1 へ出力される。

#### 【 0 0 4 9 】

AWG 1 1 1 は、ブロック 1 1 0 - 1、 $\dots$ 、1 1 0 -  $n$  から入力される波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の光信号を波長分割多重化して、光カプラ (CPL) 1 1 2 に出力する。光カプラ 1 1 2 は、AWG 1 1 1 から入力される波長分割多重光信号を光ファイバ 3 2 上に送出すると共に、その一部を分岐して OSA (Optical Spectrum Analyzer : 光スペクトル分析器) 1 1 3 にも出力する。

#### 【 0 0 5 0 】

OSA 1 1 3 は、光カプラ 1 1 2 から入力される波長分割多重光信号を基に、送信局 1 1 a から送信される波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_n$  の各光信号の強度 (パワー) と OSNR を測定し、その測定結果をコントローラ 4 1 に出力する。コントローラ 4 1 は、OSA 1 1 3 から入力される上記測定結果を基に、プリエンファシス制御の状態を確認し、プリエンファシス制御が終了したか判断する。そして、プリエンファシス制御が終了したと判断すると、応答信号を光ファイバ 3 2 を介して受信局 1 2 a に送信する。また、コントローラ 4 1 は、上記プリエンファシス制御により得られた各波長  $\lambda_i$  (各チャネル) の光信号のパワーの値 (強度値) と OSNR を制御信号に変換し、それを光ファイバ 3 2 を介して受信局 1 2 a に送信する。なお、コントローラ 4 1 によるプリエンファシス制御は、受信局 1 2 a から送られてくるプリエンファシス制御信号に従って行われる。

#### 【 0 0 5 1 】

上述したように、送信局 1 1 a が受信局 1 2 a から受信する制御信号には、プリエンファシス制御信号とフィルタ制御信号の 2 種類がある。これらの制御信号を含んだ光信号が、光ファイバ 3 1 を介して OR (Optical Receiver : 光受信器) 1 1 4 によって受信される。OR 1 1 4 は、受信した光信号をコントローラ 4 1 に出力する。

#### 【 0 0 5 2 】

コントローラ 4 1 は、受信局 1 2 a から送られてきた光信号に対し、まず、O

H (Overhead : オーバーヘッド) 信号処理を行う。すなわち、図 7 (a) に示したフォーマットの光信号からオーバーヘッド信号のみを抽出する。続いて、このオーバーヘッド信号からプリエンファシス制御信号とフィルタ制御信号をそれぞれ抽出する。

#### 【 0 0 5 3 】

コントローラ 4 1 は、上記抽出されたプリエンファシス制御信号に従い、ATT 1 1 0 c に制御命令を出力し、ATT 1 1 0 c に波長  $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda n$  の各光信号のプリエンファシス制御を実行させる。一方、コントローラ 4 1 の制御により、上記抽出されたフィルタ制御信号を、例えば図 7 (a) に示したようにオーバーヘッドに含ませて、光ファイバ 3 2 に出力して可変光フィルタ 2 3 へと送出し、これに従って可変光フィルタ 2 3 の透過波長特性が制御される。ただし、前述したように、本実施例においては、プリエンファシス制御及びフィルタ制御は、受信局 1 2 a から送られてくる各制御信号に従って行われるのであり、あくまでも受信局 1 2 a が主であって、送信局 1 1 a と可変光フィルタ 2 3 は従である。

#### 【 0 0 5 4 】

図 6 は、図 2 及び図 3 に示した受信局 1 2 a の一構成例を示す図である。

光カプラ (CPL) 1 2 1 は、光ファイバ 3 2 を介して伝搬されてくる光信号を AWG 1 2 2 へ出力すると共に、その一部を分岐して、もう 1 つの光カプラ 1 2 3 に出力する。AWG 1 2 2 は、 $n$  個の波長  $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda n$  の波長分割多重された光信号を、 $n$  個の独立した端子からそれぞれ出力し、そのそれぞれに対応する各ブロック 1 2 0 (1 2 0 - 1 ~ 1 2 0 -  $n$ ) に出力する。

#### 【 0 0 5 5 】

$n$  個のブロック 1 2 0 - 1 ~ 1 2 0 -  $n$  は、AWG 1 2 2 の上記各出力端子から出力される光信号から、波長  $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 、 $\dots$ 、 $\lambda n$  の  $n$  個の各光信号を分離・出力するためのものであり、いずれも、狭帯域フィルタ 1 2 0 a、IN LINE-AMP 1 2 0 b、DCF (分散補償ファイバ) 1 2 0 c、光カプラ (CPL) 1 2 0 d、及び FEC 付 OR (Optical Receiver : 光受信器) 1 2 0 e から構成される。

## 【 0 0 5 6 】

ここで、狭帯域フィルタ 1 2 0 a は、AWG 1 2 2 から入力される波長分割多重光信号から、目的の波長  $\lambda_i$  ( $i = 1 \sim n$ ) の光信号を取り出すためのバンドパスフィルタである。INLINE-AMP 1 2 0 b は、狭帯域フィルタ 1 2 0 a から出力される波長  $\lambda_i$  の光信号の強度を増幅して、それを DCF 1 2 0 c に出力する。DCF 1 2 0 c は、INLINE-AMP 1 2 0 b から入力される波長  $\lambda_i$  の光信号を波形整形して光カプラ (CPL) 1 2 0 d に出力する。光カプラ 1 2 0 d は、入力される波長  $\lambda_i$  の光信号を FEC 付 OR 1 2 0 e に出力すると共に、その一部を分岐して Q 値モニタ (QMON) 1 2 5 に出力する。FEC 付 OR 1 2 0 e は、入力される波形整形の施された波長  $\lambda_i$  の光信号を電気信号に変換すると共に FEC を施して、BER (Bit Error Rate: ビット誤り率) 測定器 1 2 6 に出力する。

## 【 0 0 5 7 】

Q 値モニタ 1 2 5 は、光カプラ 1 2 0 d から入力される波長  $\lambda_i$  の光信号の Q 値を測定し、その測定結果をコントローラ 1 2 7 に出力する。一方、BER 測定器 1 2 6 は、FEC 付 OR 1 2 0 e によって受信された波長  $\lambda_i$  の光信号の BER を測定し、その測定結果をコントローラ 1 2 7 に出力する。BER は、FEC による誤り訂正個数を計数することによって容易に測定できる。

## 【 0 0 5 8 】

また、光カプラ (CPL) 1 2 3 は、光カプラ 1 2 1 から入力する光信号を、OSA (Optical Spectrum Analyzer) 1 2 8 と PD (Photo Diode) 1 2 9 に分岐出力する。OSA 1 2 8 は、入力される波長  $\lambda_i$  の光信号のパワーと OSNR を測定し、その測定結果をコントローラ 1 2 7 に出力する。PD 1 2 9 は、光カプラ 1 2 3 から入力される送信局 1 1 a からの応答信号を電気信号に変換し、それをコントローラ 1 2 7 に出力する。

## 【 0 0 5 9 】

コントローラ 1 2 7 は、Q 値モニタ 1 2 5、BER 測定器 1 2 6、及び OSA 1 2 8 からそれぞれ入力される波長  $\lambda_i$  の受信光信号の Q 値 (又は BER)、及び OSNR を基に、各波長  $\lambda_i$  の光信号の伝送特性が均一かつ最適となるように

、送信局 1 1 a 側で行う波長  $\lambda_i$  の光信号のプリエンファシス量と、可変光フィルタ 2 1 における波長  $\lambda_i$  の光信号の透過量（透過波長特性）を計算する。

#### 【0060】

そして、コントローラ 1 2 7 は、その計算結果に基づく制御信号（送信局 1 1 a における波長  $\lambda_i$  の光信号のプリエンファシス量を制御するためのプリエンファシス制御信号、及び、可変光フィルタ 2 3 における透過波長特性を制御するためのフィルタ制御信号）を生成し、それを、対回線の F E C（Forward Error Correction）付 O S（Optical Sender）1 3 1 に出力する。すなわち、本実施例においては、図 3 に示した測定部 5 1 が、図 6 においては Q 値モニタ 1 2 5、B E R 測定器 1 2 6、O S A 1 2 8、及びコントローラ 1 2 7 等から構成されており、更には、Q 値モニタ 1 2 5、B E R 測定器 1 2 6、及び O S A 1 2 8 が伝送特性測定手段に相当し、コントローラ 1 2 7 が伝送特性制御手段に相当する。

#### 【0061】

対回線の F E C 付 O S 1 3 1 は、コントローラ 1 2 7 から入力される各制御信号を、例えば図 7（a）に示したフォーマットで、内蔵の L D（Lazer Diode）等の光源を用いて、対回線の光ファイバ 3 1 を介して送信局 1 1 a に送出する。この場合、光信号のオーバーヘッド内に制御信号を含めるための O H（オーバーヘッド）信号処理を行ってから、送信する。尚、O S 1 3 1 は、上記制御信号を送出する際、F E C を行う。

#### 【0062】

次に、図 8～図 1 1 を用いて、本実施例における伝送特性の均一化のための制御について、以下の（a）～（c）で、より詳細に説明する。なお、以下では、受信局側で、伝送特性として O S N R 及び Q 値を測定し、その測定結果に基づいてプリエンファシス制御とフィルタ制御とを行う場合を例として述べる。

（a）まず、システムの運用を開始する前に、可変光フィルタ 2 3 のみによる Q 値の等化を行う。そのためのシステム全体のアルゴリズムについて、図 8 を参照しながら、以下の（a-1）～（a-10）に示す。

#### 【0063】

（a-1）最初に、O S N R の等化を開始する（ステップ 1 0 1）。そして、

まず受信局 1 2 a において、各チャネル（各波長）の O S N R を測定し（ステップ 1 0 2）、その最大値（O S N R<sub>max</sub>）と最小値（O S N R<sub>min</sub>）との差が所定の基準値（Δ）よりも小さいかどうかを判定する（ステップ 1 0 2）。

## 【 0 0 6 4 】

（a - 2）上記ステップ 1 0 2 において、もし最大値（O S N R<sub>max</sub>）と最小値（O S N R<sub>min</sub>）との差が所定の基準値（Δ）以上であれば、O S N R の等化が未だ不十分であるとして、ステップ 1 0 4 - 1 へ進む。このステップ 1 0 4 - 1 では、チャネル C H i の透過量 D i を求め、可変光フィルタ 2 3 の変化させるべき透過波長特性を算出する（ステップ 1 0 4 - 1）。なお、上記透過量 D i は、チャネル C H i の O S N R を O S N R<sub>i</sub>、全チャネルの平均の O S N R を O S N R<sub>avg</sub>、光伝送路 2 1 中に配置された可変光フィルタ 2 3 の数を n として、以下の式（2）によって算出する。

## 【 0 0 6 5 】

$$D i = - (O S N R i - O S N R a v g) / n \quad (2)$$

（a - 3）そして受信局 1 2 a では、可変光フィルタ 2 3 を上記ステップ 1 0 4 - 1 で算出された透過波長特性に制御するためのフィルタ制御信号を作成し、このフィルタ制御信号を送信局 1 1 a 経由で可変光フィルタ 2 3 へ送信し、可変光フィルタ 2 3 の透過波長特性を上記算出された透過波長特性に制御する（ステップ 1 0 4 - 2）。

## 【 0 0 6 6 】

（a - 4）以降、上記ステップ 1 0 2、1 0 3、1 0 4 - 1、及び 1 0 4 - 2 を繰り返し、ステップ 1 0 3 において O S N R<sub>max</sub> と O S N R<sub>min</sub> との差が基準値 Δ よりも小さくなったと判定された時点で、O S N R の等化が終了したとして、その時点での各チャネルの O S N R<sub>i</sub> を記憶する（ステップ 1 0 5）。

## 【 0 0 6 7 】

（a - 5）以上のようにして O S N R の等化が終了したら、次に、Q 値の等化を開始する（ステップ 1 0 6）。そして、まず受信局 1 2 a から可変光フィルタ 2 3 に指示して、可変光フィルタ 2 3 における 1 つのチャネル C H i のみの透過量を減少させ、O S N R<sub>i</sub> を小さくする（ステップ 1 0 7）。

## 【 0 0 6 8 】

(a-6) 続いて、受信局 1 2 a においてチャネル C H i での Q 値 (Q i 値) を測定し、上記ステップ 1 0 7 の操作により Q i 値が所定の目標値まで下がったかどうかを判定する (ステップ 1 0 8)。この目標値としては、システムによって規定される最低値を採用する。判定の結果、Q i 値が目標値まで下がっていない場合は、Q i 値が目標値に達するまでステップ 1 0 7 の操作を繰り返し、目標値まで下がってからステップ 1 0 9 へ移行する。

## 【 0 0 6 9 】

(a-7) ステップ 1 0 9 では、受信局 1 2 a から可変光フィルタ 2 3 へ指示を出して C H i の透過量を元に戻させ、O S N R i を元の初期値に戻す (ステップ 1 0 9)。その際、受信局 1 2 a では、Q i 値が目標値まで下がった時の O S N R i (これを B i とする) を測定しておき、この B i と O S N R i の初期値との差を求めることにより、O S N R i の変化幅 E i を算出する (ステップ 1 1 0)。

## 【 0 0 7 0 】

なお、実際の信号波形上における上記の B i と E i の関係を、図 1 2 に模式的に示す。同図では、一例として 2 つのチャネル C H 1 及び C H 2 (すなわち、i = 1、2) だけを示してある。

## 【 0 0 7 1 】

(a-8) ステップ 1 1 0 では、更に、上記のステップ 1 0 7 以降の操作を各チャネル毎に繰り返すことで、全てのチャネルについて O S N R i の変化幅 E i を求め、その平均値 E avg を算出する。この平均値 E avg は、チャネルの総数を m (i = 1、2、3、・・・、m) とすれば、以下の式 (3) で求まる。

## 【 0 0 7 2 】

$$E_{avg} = (E_1 + E_2 + \cdots + E_m) / m \quad (3)$$

(a-9) 次のステップ 1 1 1 において、受信局 1 2 a では、可変光フィルタ 2 3 によって変動させるべき、各チャネル毎の O S N R 量  $\Delta E i$  を求める。この O S N R 量  $\Delta E i$  は、上記平均値 E avg と各チャネル毎の変化幅 E i との差として、以下の式 (4) で求まる。

【0073】

$$\Delta E_i = E_{avg} - E_i \quad (4)$$

そして、可変光フィルタ23に指示して各チャンネルCH<sub>i</sub>の透過量をそれぞれ調整させることにより、受信局12aでの各チャンネルのOSNR<sub>i</sub>を、上記の初期値に対し上記OSNR量 $\Delta E_i$  ( $= E_{avg} - E_i$ )だけ変化させる。すなわち、各チャンネルのOSNR<sub>i</sub>が、 $B_i + E_{avg}$ となるように調整する。これにより、各チャンネルのQ値が等化される。

【0074】

(a-10) 受信局12aは、上記ステップ111で可変光フィルタ23を調整して最終的に得られた等化波長特性（フィルタの形）を記憶すると共に、最終的な各チャンネルのOSNR<sub>i</sub>を記憶して、可変光フィルタ23のみの制御によるQ値の等化を終了する（ステップ112）。ここで記憶された等化波長特性は、以後の操作（図9）において使用される。

【0075】

なお、以上のステップ107～111までの操作を、図13に模式的に示した。同図では、一例として2つのチャンネルCH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>のみを対象にして示してあるが、他のチャンネルにおいても考え方は同じである。以下に、簡単に説明する。

【0076】

まず、前述のステップ101～105によって各チャンネルのOSNRが等化され、互いにほぼ等しいOSNRとなっており、これを各OSNRの初期値とする（黒三角で示される位置）。

【0077】

これに対し、ステップ107及び108の操作によって、Q値がその目標値（Q<sub>limit</sub>）に達するまでOSNRを小さくする。その時のチャンネルCH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>、・・・のOSNRが、それぞれB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、・・・である。

【0078】

そのようにOSNRを変化させた際の各OSNRの変化幅E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、・・・を求め、それらの平均値E<sub>avg</sub>を算出する。

そして、OSNRを、上記B1、B2、・・・の位置からいずれも平均値 $E_{avg}$ だけ変化させる（黒丸で示される位置）。これにより、Q値が最適値（ $Q_{opt}$ ）に等化される。なお、この黒丸で示される位置は、黒三角で示される初期位置に対して、各チャネルCHi毎にOSNRを $E_{avg} - E_i$ だけ変化させた位置に等しい。

(b) 以上に述べた可変光フィルタ23のみによるQ値の等化が終了したら、次は、可変光フィルタ23とプリアンファシスの両方によるQ値の等化及び最適化を行う。これも、システムの運用を開始する前に行う。そのためのシステム全体のアルゴリズムについて、図9を参照しながら、以下の(b-1)～(b-5)に示す。

#### 【0079】

(b-1) 最初に、Q値の等化を開始する（ステップ201）。そして、まず受信局12aから可変光フィルタ23に指示を出すことにより、可変光フィルタ23の透過波長特性を、前述のステップ112（図8）で記憶された等化波長特性（フィルタの形）のX%に設定する（ステップ202）。すなわち、上記の記憶された等化波長特性を100%の形とし、そのX%の形に等化波長特性を設定する。なお、Xは100未満の任意の数値であり、例えば90、80、・・・、10、0等であって、これらXの各数値毎に以下のステップ203及び204の操作を行う。

#### 【0080】

(b-2) 上記ステップ202で設定された可変光フィルタ23の透過波長特性のもとで、受信局12aが送信局11aへ指示を出すことにより、送信局11aのプリアンファシス制御のみによるQ値の等化を行う（ステップ203）。

#### 【0081】

この操作を具体的に図10に示す。同図に示されたステップ301～312は、基本的には、図8に示したステップ101～112において、制御の対象が可変光フィルタ23から送信局11aのプリアンファシスに切り換わっただけである。すなわち、図10では、可変光フィルタ23で各チャネルの透過量を調整する代わりに、送信局11aで各信号光のパワーを調整するようにして、OSNR



やQ値を変化させようとしている。よって、図10についての詳細な説明は省略する。

#### 【0082】

(b-3) 受信局12aにおいて、上記ステップ203で等化して得られたQ値を各チャネル毎に測定し、その全チャネルの平均値 $Q_{avg}$ を算出して、これを一旦記憶しておく(ステップ204)。そして、上記ステップ202においてXとして設定された全ての数値(例えば $X=90, 80, \dots, 10, 0$ )について上記平均値 $Q_{avg}$ を求めたかどうかを判定し(ステップ205)、まだであれば、全てのXについての平均値 $Q_{avg}$ が得られるまで、上記ステップ202～204を繰り返す。

#### 【0083】

(b-4) 受信局12aでは、更に、上記の平均値 $Q_{avg}$ が最大となる時のXを最適割合値 $X_{opt}$ として求め、これを記憶する(ステップ206)。そして、可変光フィルタ23に指示して、その透過波長特性を、上記ステップ112で記憶された透過波長特性の $X_{opt}$ %に制御する。

#### 【0084】

(b-5) 最後に、上記ステップ206で設定された可変光フィルタ23の最適な透過波長特性のもとで、受信局12aが送信局11aへ指示を出すことにより、送信局11aのプリアンファシス制御のみによるQ値の等化を行う(ステップ208)。これにより、システムの運用開始前に行うQ値の等化操作を終了する(ステップ209)。

#### 【0085】

以上に述べた(a)及び(b)の操作により、可変光フィルタ23の透過波長特性とそれに伴うプリアンファシスの設定とを、伝送特性の最適化された状態とすることができる。

(c) システムの運用中においては、運用開始前に以上のようにして求められたプリアンファシス制御とフィルタ制御の最適配分に従ってQ値を等化する。そのためのシステム全体のアルゴリズムについて、図11を参照しながら、以下の(c-1)～(c-4)に示す。

## 【0086】

(c-1) 最初に、Q値の等化を開始する(ステップ401)。そして、まず受信局12aから送信局11aに指示を出すことにより、1つのチャネルCHiのみプリエンファシスの制御によって信号光パワーを減少させることで、そのOSNRiを小さくする(ステップ402、403)。そして、その時のQi値を受信局12aで測定し、このQi値が所定の目標値まで下がったかどうかを判定する(ステップ403)。未だ目標値まで下がらない場合は、上記ステップ402を繰り返し、目標値まで下がってからステップ404へ移行する。なお、目標値としては、上述のステップ108(図8)において採用したものと同一ものを採用する。

## 【0087】

(c-2) ステップ404では、受信局12aから送信局11aへ指示を出してCHiの信号光パワーを元に戻させ、OSNRiを元の初期値に戻す(ステップ404)。その際、受信局12aでは、上述のステップ110と同様、Qi値が目標値まで下がった時のOSNRi(=Bi)を測定しておき、このOSNRi(=Bi)と上記初期値との差を求めることによりOSNRiの変化幅Eiを算出し、更に、上記のステップ402以降の操作を各チャネル毎に繰り返すことで、全てのチャネルについてOSNRiの変化幅Eiを求め、その平均値Eavgを算出する(ステップ405)。

## 【0088】

なお、上記のステップ402及び404では、送信局11aにおける各チャネルの信号光パワーを変化させるようにしたが、この代わりに、可変光フィルタ23における各チャネルの透過量を変化させるようにしてもよい。

## 【0089】

(c-3) 次のステップ406において、受信局12aでは、可変光フィルタ23及びプリエンファシスの両制御によって変動させるべき、各チャネル毎のOSNR量 $\Delta E_i (= E_{avg} - E_i)$ を求める。そして、可変光フィルタ23に指示して各チャネルCHiの透過量をそれぞれ調整させることにより、受信局12aでの各チャネルのOSNRiを、上記の初期値に対し、上記OSNR量 $\Delta E_i$

( $= E_{avg} - E_i$ ) と、上記ステップ 2 0 6 で記憶された最適割合値  $X_{opt}$  との積 ( $= \Delta E_i \times X_{opt}$ ) だけ変化させる。なお、この場合、式中の  $X_{opt}$  の単位は、“%”の代わりに通常の比 ( $< 1$ ) を採用している。

【0090】

(c-4) 一方、ステップ 4 0 7 において、受信局 1 2 a が送信局 1 1 a に指示して各チャネル  $CH_i$  の信号光パワーをそれぞれ調整させることにより、受信局 1 2 a での各チャネルの  $OSNR_i$  を、更に、上記  $OSNR$  量  $\Delta E_i$  ( $= E_{avg} - E_i$ ) と、1 から上記の最適割合値  $X_{opt}$  を差し引いた値 ( $= 1 - X_{opt}$ ) との積 ( $= \Delta E_i \times (1 - X_{opt})$ ) だけ変化させる。このようにして、運用中における  $Q$  値の等化を終了する (ステップ 4 0 8)。

【0091】

すなわち、上記のステップ 4 0 6 及び 4 0 7 において、可変光フィルタ 2 3 とプリエンファシスの各制御が担当する比重を“ $X_{opt}$  対 ( $1 - X_{opt}$ )”として配分することで、 $Q$  値の等化を行っている。このように、最適な配分で各制御を実行することにより、伝送特性の均一化と共に、その最適化を図ることができる。

## <第 2 の実施例>

図 1 4 及び図 1 5 は、図 1 のシステムに適用された本発明の第 2 の実施例の全体動作を概略的に説明する概念図であって、図 1 4 は送信局 1 1 b が受信局 1 2 b を制御する動作を説明する図、図 1 5 は送信局 1 1 b が可変光フィルタ 2 3 を制御する動作を説明する図である。この第 2 の実施例では、送信局 1 1 b が主局、受信局 1 2 b が従局である。尚、図 1 4 においては、可変光フィルタ 2 3 を図示省略してある。以下に、各制御について、簡単に説明する。

### (A) 送信局のプリエンファシスの制御 (図 1 4)

送信局 1 1 b は、伝送特性制御手段としてのコントローラ 6 1 及びプリエンファシス制御部 6 2 を有しており、光ファイバ 3 2 を介して、受信局 1 2 b に対し、 $OSNR$  及び  $Q$  値を測定してその結果を送るよう指示を出す。

【0092】

受信局 1 2 a は、伝送特性測定手段としての測定部 7 1 を有しており、この測

定部 7 1 で、送信局 1 1 b からの指示に従い、受信した光信号の O S N R 及び Q 値を測定し、その測定結果を応答信号として光ファイバ 3 1（対回線）を介し送信局 1 1 b へ送信する。

## 【 0 0 9 3 】

送信局 1 1 b は、受信局 1 2 b から送られてきた上記測定結果を解析し、プリエンファシスを制御する。

## （B）可変光フィルタの透過波長特性の制御（図 1 5）

送信局 1 1 b は、光ファイバ 3 2 を介して、受信局 1 2 b に対し、O S N R 及び Q 値を測定してその結果を送るよう指示を出す。

## 【 0 0 9 4 】

受信局 1 2 b は、送信局 1 1 b からの指示に従い、受信した光信号の O S N R 及び Q 値を測定部 7 1 において測定し、その測定結果を光ファイバ 3 1 を介して送信局 1 1 b へ送出する。

## 【 0 0 9 5 】

送信局 1 1 b は、送られてきた測定結果を解析して、フィルタ制御信号を作成し、光ファイバ 3 2 を介して可変光フィルタ 2 3 に送出する。可変光フィルタ 2 3 では、送られてきたフィルタ制御信号に従って透過波長特性が制御される。

## 【 0 0 9 6 】

なお、送信局 1 1 b 側が受信局 1 2 b や可変光フィルタ 2 3 を制御する信号としては、前記第 1 の実施例の場合と同様、例えば、図 7（a）に示したような方式を採用可能である。

## 【 0 0 9 7 】

以上のように、本実施例では、送信局 1 1 b の指示による受信局 1 2 b での伝送特性（O S N R、Q 値）の測定結果を基に、送信局 1 1 b がプリエンファシスを制御すると共に、可変光フィルタ 2 3 の透過波長特性を制御することにより、図 1 に示す WDM 光通信システムにおける伝送特性の均一化及び最適化を行う。

## 【 0 0 9 8 】

図 1 6 及び図 1 7 に、以上に示した送信局 1 1 b 及び受信局 1 2 b の各構成例を示すが、図 5 及び図 6 に示した構成との相違点のみを簡単に述べる。なお、可

変光フィルタ 2 3 は、図 4 の構成と同様である。

【 0 0 9 9 】

図 1 6 に示した送信局 1 1 b は、コントローラ 6 1 が主となって、従としての受信局 1 2 b や可変光フィルタ 2 3 を制御するように構成されている以外は、図 5 に示した構成と同じである。そして、受信局 1 2 b 側から光ファイバ 3 1 を介して送られてくる信号は、制御信号ではなく応答信号になる。

【 0 1 0 0 】

図 1 7 に示した受信局 1 2 b は、コントローラ 1 3 0 が O S N R や Q 値の測定結果を解析したりする機能を持っていないという点以外は、図 6 に示した構成と同じである。そして、光ファイバ 3 1 を介して送信局 1 1 b 側へ送信する信号は、制御信号ではなく応答信号になる。

【 0 1 0 1 】

次に、図 1 8 ～図 2 1 に、第 2 の実施例における伝送特性の均一化のための制御を示す。ただし、これらは図 8 ～図 1 1 に示したものと処理内容が基本的に同じであり、制御の主体が受信局から送信局に切り換わっているだけなので、詳細な説明は省略する。

【 0 1 0 2 】

以上、第 2 の実施例については簡単に説明したが、このように制御の主体を受信局から送信局に変えても、可変光フィルタ 2 3 とプリアンファシスの各制御が担当する比重を“ $X_{opt}$  対  $(1 - X_{opt})$ ”として配分することで、最適な配分で各制御を実行することができ、よって、伝送特性の均一化と共に、その最適化を図ることができる。

< 第 3 の実施例 >

上記第 1 の実施例では、図 8 ～図 1 0 に示したように、システムの運用を開始する前に、まず可変光フィルタ 2 3 のみによる Q 値の等化を行い、その後に、可変光フィルタ 2 3 とプリアンファシスの両方による Q 値の等化及び最適化を行った。しかし、本発明はこれに限定されるものではなく、最初にプリアンファシスのみに Q 値の等化を行ってから、その後に、その際のプリアンファシス量を基準にして可変光フィルタ 2 3 とプリアンファシスの両方による Q 値の等化及び最

適化を行うようにしてもよい。このようにしたものを、第 3 の実施例として、図 2 2 ～図 2 4 に示す。

#### 【 0 1 0 3 】

すなわち、図 2 2 は本発明の第 3 の実施例における制御動作のアルゴリズム（運用開始前のプリアンファシスのみによる Q 値等化）を示すフローチャートであり、図 2 3 は同実施例における制御動作のアルゴリズム（運用開始前のフィルタとプリアンファシスによる Q 値等化）を示すフローチャートであり、図 2 4 は図 2 3 におけるステップ 1 0 0 3 の処理（フィルタによる Q 値等化）を詳細に示すフローチャートである。

#### 【 0 1 0 4 】

この第 3 の実施例と第 1 の実施例との相違は、最初の Q 値等化を可変光フィルタのみにより行うかプリアンファシスのみにより行うかの違いだけであるため、ここではその詳細な説明を省略する。このような第 3 の実施例によっても、第 1 の実施例と同様な効果が得られる。

#### 【 0 1 0 5 】

勿論、上記第 2 の実施例において、最初にプリアンファシスのみにる Q 値の等化を行ってから、その後に、その際のプリアンファシス量を基準にして可変光フィルタとプリアンファシスの両方による Q 値の等化及び最適化を行うようにしてもよい。

#### <その他の実施例>

（1）以上の実施例では、制御信号の送信方式として、図 7（a）に示したようにオーバーヘッド内に制御信号を含めて送信する方式を採用したが、本発明はこれに限定されるものではなく、基本的にはどのような形式で制御信号を送信してもかまわない。望ましい送信方式としては、上記のようにオーバーヘッドを利用するものの他、例えば、同図（b）に示すように、主信号振幅に制御信号を重畳して送信する方式や、或いは、同図（c）に示すように、主信号波長とは別個の専用の制御信号波長を用いて送信する方式等を採用可能である。

#### 【 0 1 0 6 】

図 2 5 及び図 2 6 は、上記図 7（c）に示したような専用の制御信号波長を用

いて制御信号を送信する場合における送信局と受信局の構成例を示した図である。同図においては、図 5 及び図 6 に示した送信局や受信局の構成に加えて、制御信号専用波長を送信／受信するための構成を有するブロック 2 0 1、2 0 2 が追加されており、各 AWG にも制御信号専用の端子が設けられている。

(2) 図 6 に示した受信局では、全てのブロック 1 2 0 - 1 ~ 1 2 0 - n に対して 1 個の Q 値モニタ 1 2 5 と 1 個の B E R 測定器 1 2 6 を設けた構成としてあるが、この代わりに、各ブロック 1 2 0 - i 毎にそれぞれ Q 値モニタと B E R 測定器を設けるような構成にしてもよい。

(3) 以上の実施例では、受信局での Q 値に基づいて伝送特性を評価していたが、その代わりに、受信局での B E R に基づいて伝送特性を評価することも可能である。B E R は、F E C による誤り訂正個数をカウントすることで、容易に観測できる。

#### 【 0 1 0 7 】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、送信局のプリエンファシスを制御するだけでなく、光伝送路中に配置した可変光フィルタの透過波長特性をも制御するようにしたので、伝送特性を均一化する際のプリエンファシスへの負担を極めて有効に軽減することができる。そして、これに伴い、中継システムの設計規格を緩めることも可能となる。

#### 【 0 1 0 8 】

しかも、送信局のプリエンファシスと可変光フィルタの透過波長特性の両方を制御可能とすることにより、プリエンファシスのみによる場合と比べ、より高品質の伝送特性を得ることができる。

#### 【 0 1 0 9 】

更に、伝送特性の均一化を図る際、予め、送信局のプリエンファシスの制御と可変光フィルタの透過波長特性の制御との“最適な配分”を求めておくことも可能であり、このようにすれば、この最適な配分に従ってプリエンファシス及び透過波長特性をそれぞれ制御することができる。その結果、伝送特性を均一化できるだけでなく、常に最高の伝送品質を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の適用される WDM 光通信システムの構成例を示す図である。

【図 2】

本発明の第 1 の実施例の全体動作を概略的に説明する概念図であって、送信局 1 1 a が受信局 1 2 a を制御する動作を説明する図である。

【図 3】

本発明の第 1 の実施例の全体動作を概略的に説明する概念図であって、送信局 1 1 a が可変光フィルタ 2 3 を制御する動作を説明する図である。

【図 4】

本発明の第 1 の実施例における可変光フィルタ 2 3 の一構成例を示す図である。

【図 5】

本発明の第 1 の実施例における送信局 1 1 a の一構成例を示す図である。

【図 6】

本発明の第 1 の実施例における受信局 1 2 a の一構成例を示す図である。

【図 7】

制御信号を送信する際に使用可能なフォーマットの一例を示す図であり、（a）はオーバーヘッド内に制御信号を含めて送信する例、（b）は主信号振幅に制御信号を重畳して送信する例、（c）は主信号波長とは別個の専用の制御信号波長を用いて送信する例である。

【図 8】

本発明の第 1 の実施例における制御動作のアルゴリズム（運用開始前のフィルタのみによる Q 値等化）を示すフローチャートである。

【図 9】

本発明の第 1 の実施例における制御動作のアルゴリズム（運用開始前のフィルタとプリエンファシスによる Q 値等化）を示すフローチャートである。

【図 10】

図 9 におけるステップ 2 0 3 及び 2 0 8 の処理（プリエンファシスによる Q 値



等化) を更に詳細に示すフローチャートである。

【図 1 1】

本発明の第 1 の実施例における制御動作のアルゴリズム (運用中における Q 値等化) を示すフローチャートである。

【図 1 2】

実際の信号波形上における  $B_i$  ( $Q_i$  値が目標値まで下がった時の  $OSNR_i$ ) と  $E_i$  ( $OSNR_i$  の変化幅) との関係を模式的に示す図である。

【図 1 3】

図 8 におけるステップ 1 0 7 ~ 1 1 1 までの操作を模式的に示した図である。

【図 1 4】

本発明の第 2 の実施例の全体動作を概略的に説明する概念図であって、送信局 1 1 b が受信局 1 2 b を制御する動作を説明する図である。

【図 1 5】

本発明の第 2 の実施例の全体動作を概略的に説明する概念図であって、送信局 1 1 b が可変光フィルタ 2 3 を制御する動作を説明する図である。

【図 1 6】

本発明の第 2 の実施例における送信局 1 1 b の一構成例を示す図である。

【図 1 7】

本発明の第 2 の実施例における受信局 1 2 b の一構成例を示す図である。

【図 1 8】

本発明の第 2 の実施例における制御動作のアルゴリズム (運用開始前のフィルタのみによる Q 値等化) を示すフローチャートである。

【図 1 9】

本発明の第 2 の実施例における制御動作のアルゴリズム (運用開始前のフィルタとプリアンファシスによる Q 値等化) を示すフローチャートである。

【図 2 0】

図 1 9 におけるステップ 6 0 3 及び 6 0 8 の処理 (プリアンファシスによる Q 値等化) を更に詳細に示すフローチャートである。

【図 2 1】

本発明の第 2 の実施例における制御動作のアルゴリズム（運用中における Q 値等化）を示すフローチャートである。

【図 2 2】

本発明の第 3 の実施例における制御動作のアルゴリズム（運用開始前のプリエンファシスのみによる Q 値等化）を示すフローチャートである。

【図 2 3】

本発明の第 3 の実施例における制御動作のアルゴリズム（運用開始前のフィルタとプリエンファシスによる Q 値等化）を示すフローチャートである。

【図 2 4】

図 2 3 におけるステップ 1 0 0 3 の処理（フィルタによる Q 値等化）を詳細に示すフローチャートである。

【図 2 5】

本発明の他の実施例における送信局の一構成例を示す図である。

【図 2 6】

本発明の他の実施例における受信局の一構成例を示す図である。

【符号の説明】

- 1 1、1 1 a、1 1 b 送信局
- 1 2、1 2 a、1 2 b 受信局
- 2 1 光ファイバ
- 2 2 中継器
- 2 3 可変光フィルタ
  - 2 3 1 フィルタ部
  - 2 3 2 コントローラ
  - 2 3 3 P D
  - 2 3 4 C P L
- 3 1、3 2 光ファイバ
- 4 1 コントローラ
- 4 2 プリエンファシス制御部
- 5 1 測定部

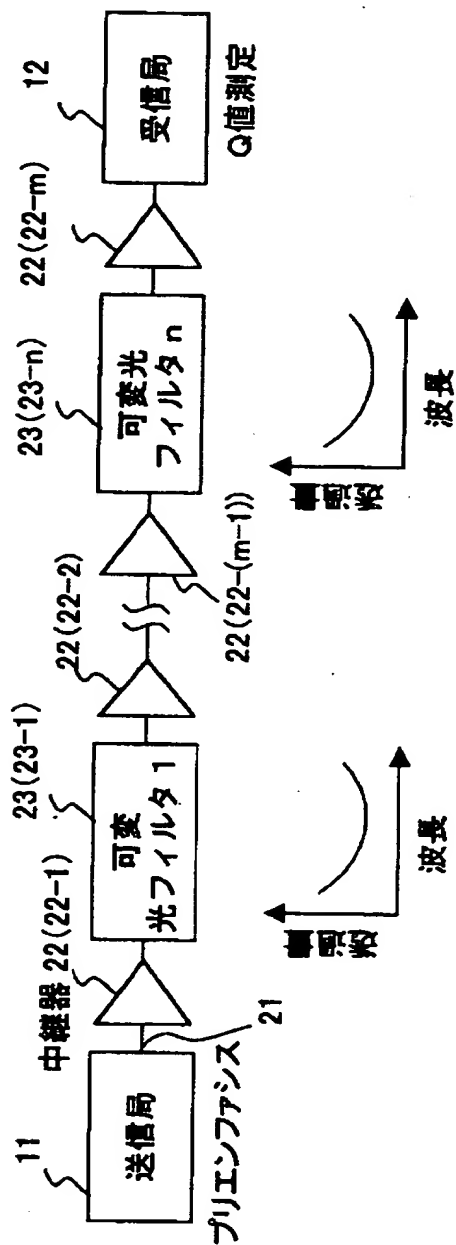
- 61 コントローラ
- 62 プリエンファシス制御部
- 71 測定部
- 110 ブロック
  - 110a FEC付OS
  - 110b POST-AMP
  - 110c ATT
- 111 AWG
- 112 CPL
- 113 OSA
- 114 OR
- 120 ブロック
  - 120a 狭帯域フィルタ
  - 120b INLINE-AMP
  - 120c DCF
  - 120d CPL
  - 120e FEC付OR
- 121 CPL
- 122 AWG
- 123 CPL
- 125 QMON
- 126 BER
- 127 コントローラ
- 128 OSA
- 129 PD
- 131 FEC付OS
- 201、202 ブロック

【書類名】

図面

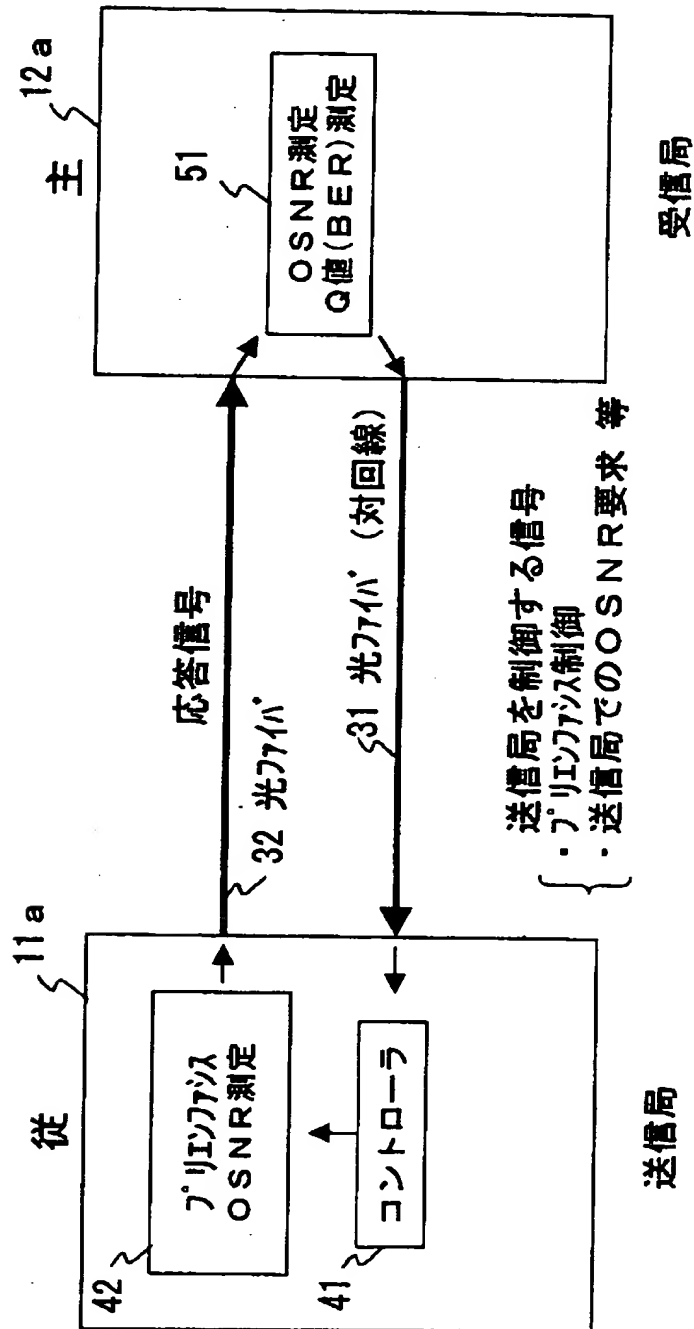
【図 1】

本発明の適用されるWDM光通信システムの構成例を示す図



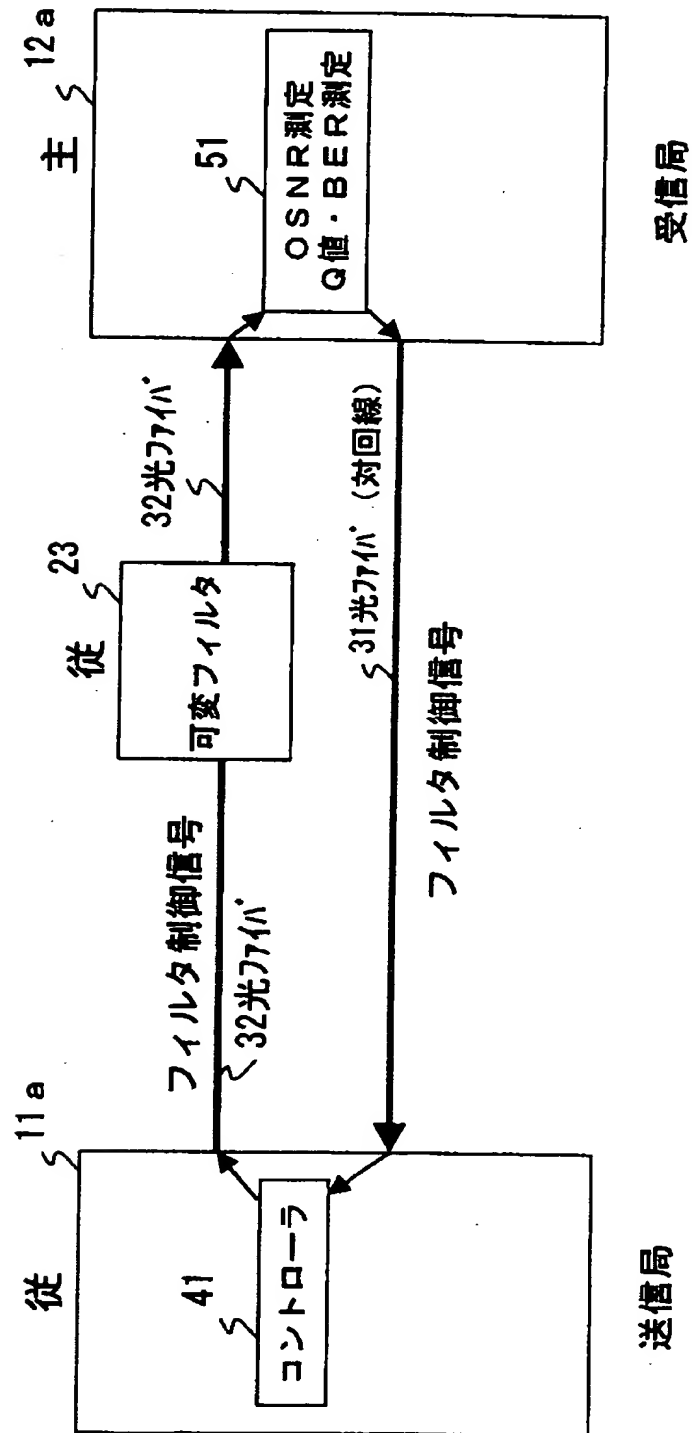
【図 2】

本発明の第 1 の実施例の全体動作を概略的に説明する  
概念図であって、送信局 11a が受信局 12a を制御する  
動作を説明する図



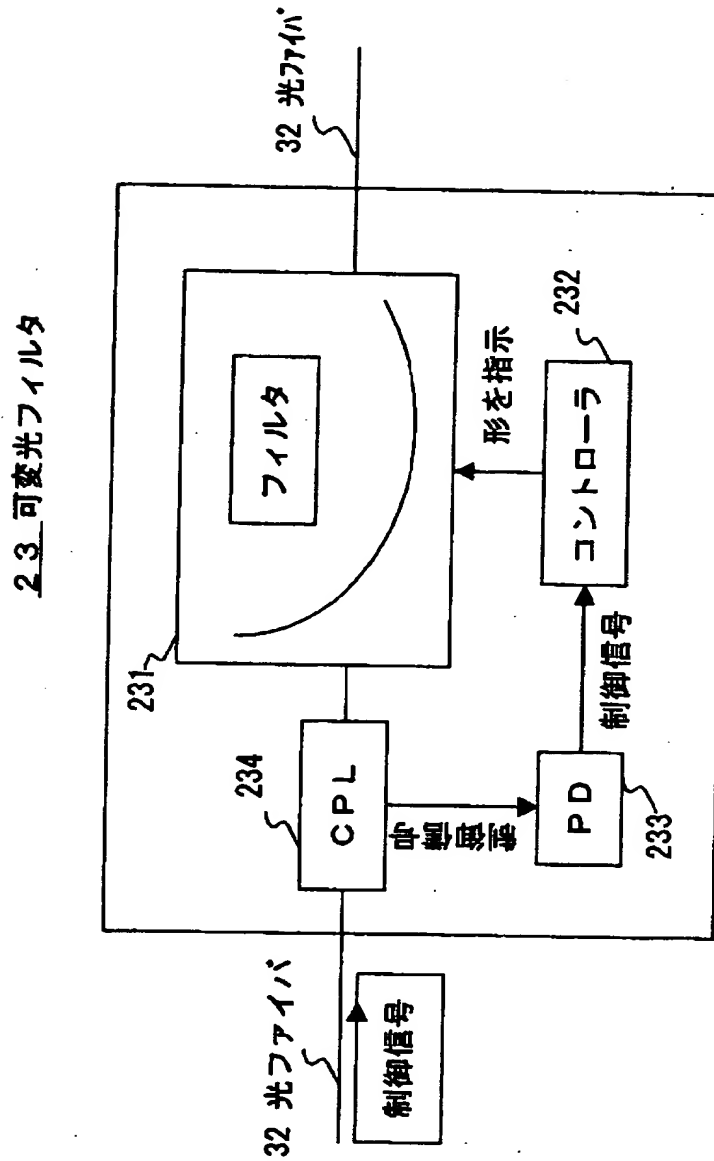
【図3】

本発明の第1の実施例の全体動作を概略的に説明する概念図であって、送信局11aが可変光フィルタ23を制御する動作を説明する図



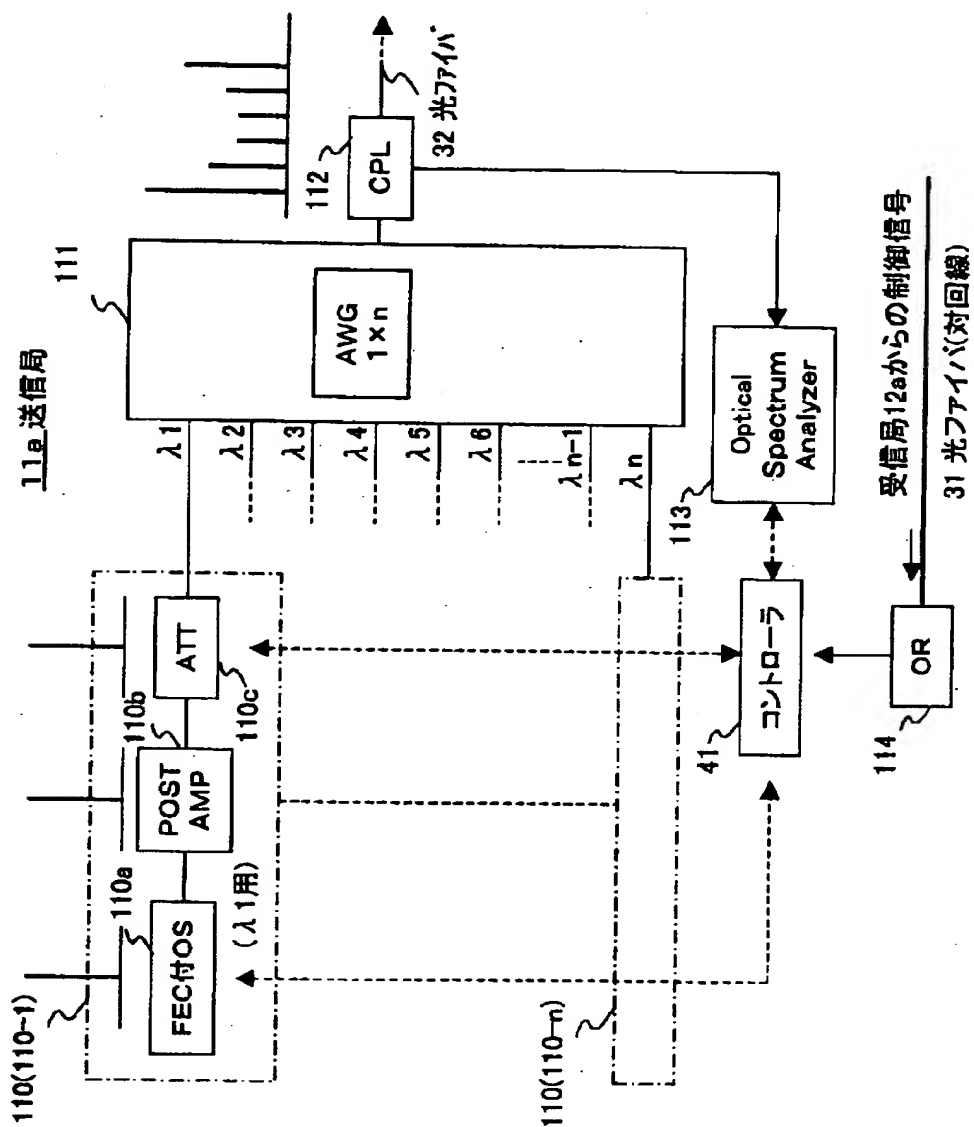
【図 4】

本発明の第 1 の実施例における  
可変光フィルタ 23 の一構成例を示す図



【図 5】

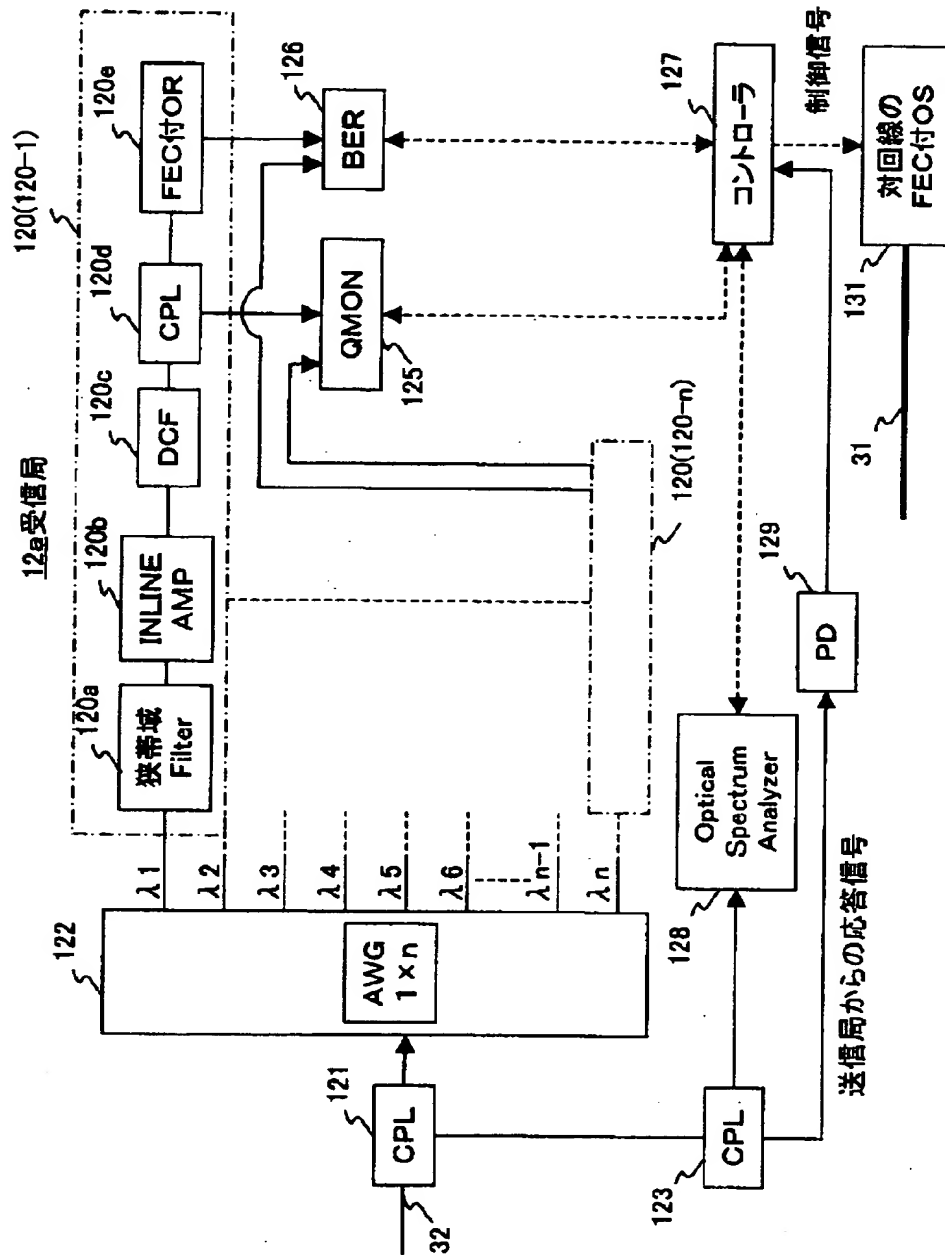
本発明の第1の実施例における送信局11aの一構成例を示す図





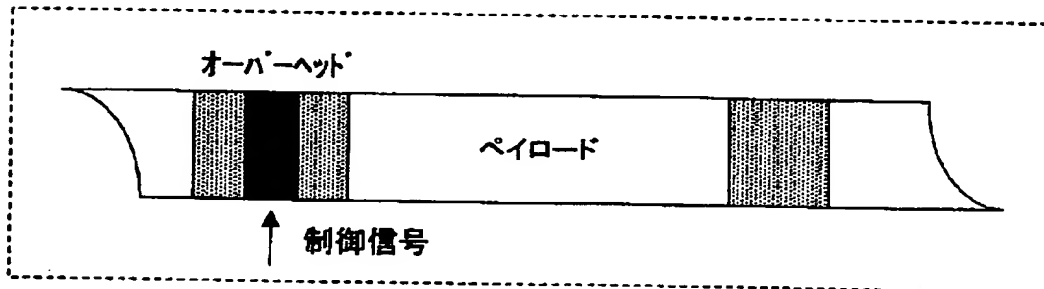
【図 6】

本発明の第1の実施例における順局12aの一構成例を示す図

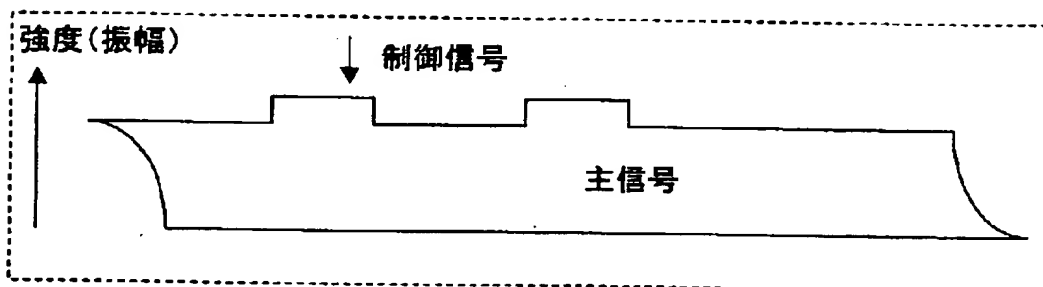


【図 7】

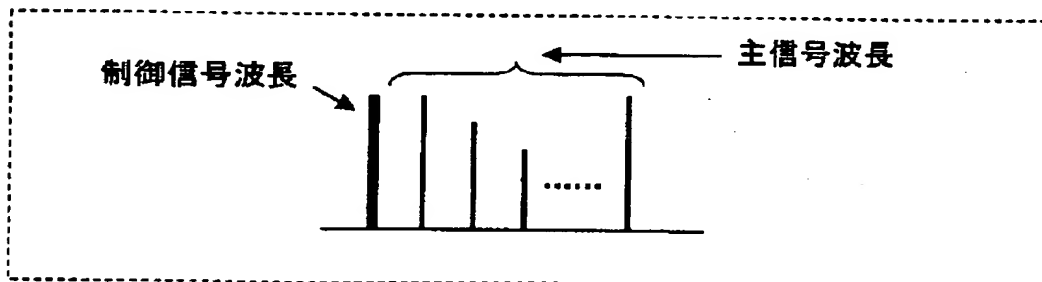
送信信号を送信する際に使用可能なフォーマットの一例を示す図であり、  
 (a)はオーバーヘッド内に制御信号を含めて送信する例、  
 (b)は主信号振幅に制御信号を重畳して送信する例、  
 (c)は主信号波長とは別個の専用の制御信号波長を用いて送信する例



(a)オーバーヘッド内に制御信号をおいて送信



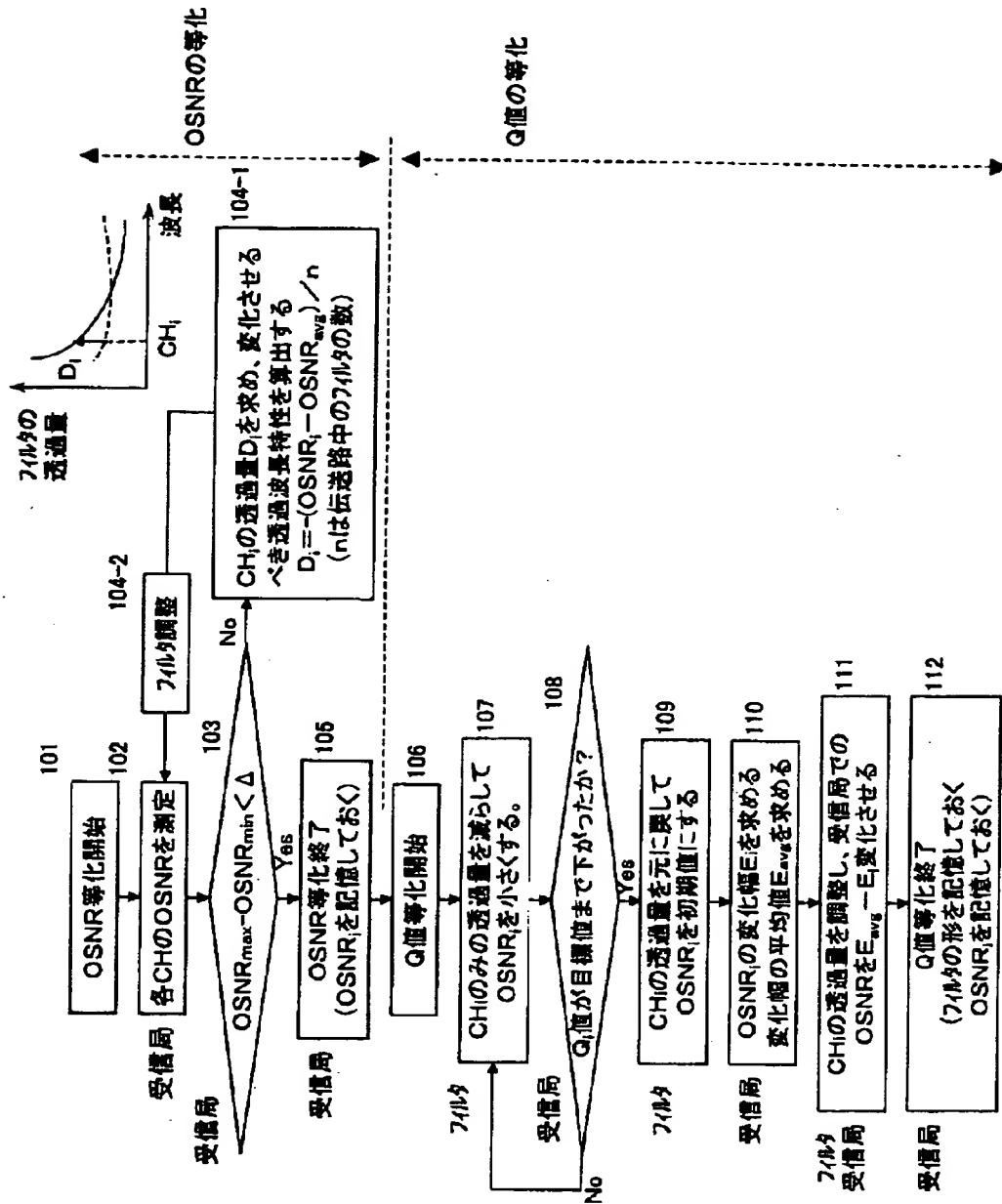
(b)主信号振幅に重畳



(c)専用信号による送信

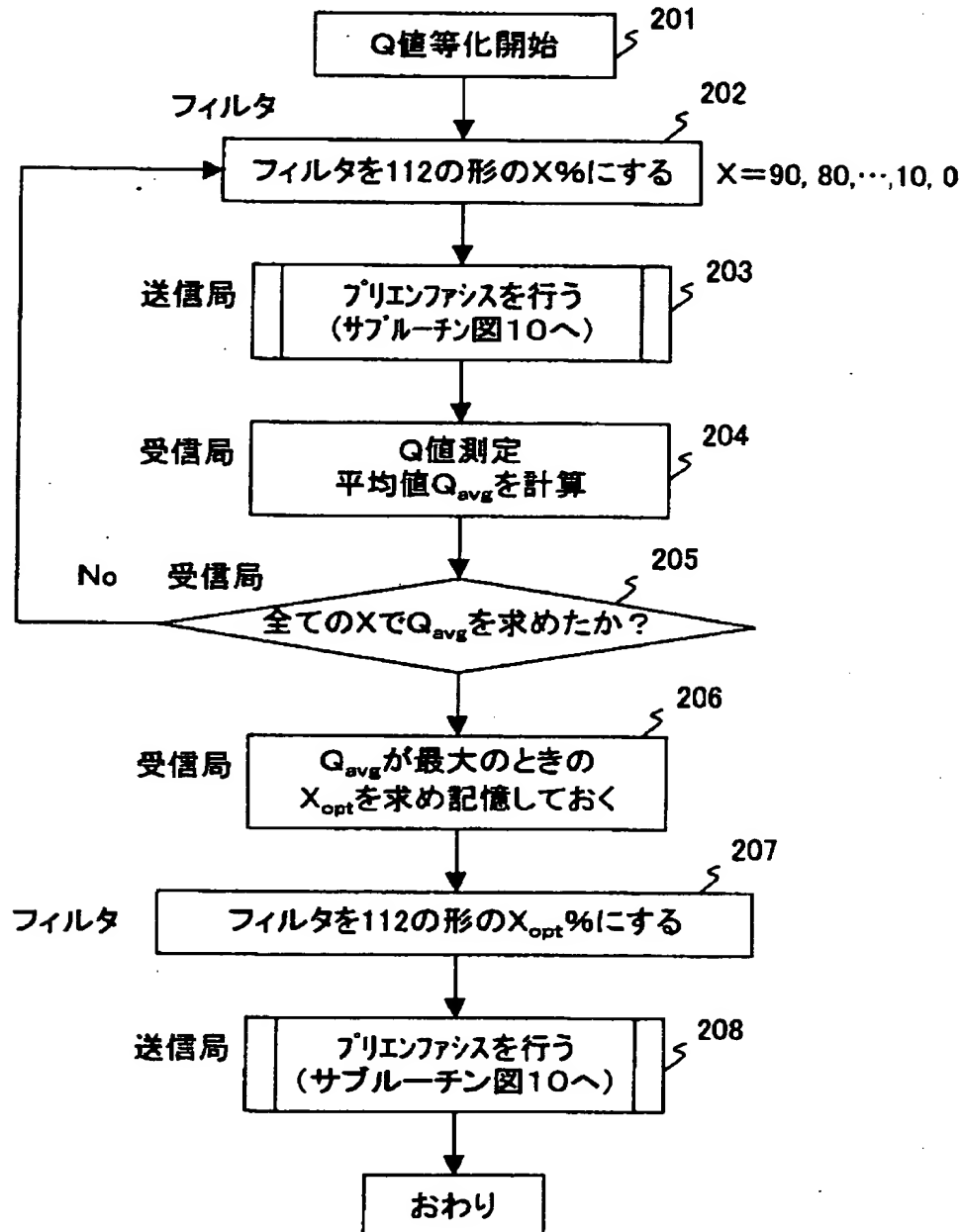
【図 8】

本発明の第1の実施例における制御動作のアルゴリズム  
(運用開始前のフィルタのみによるQ値等化)を示すフローチャート



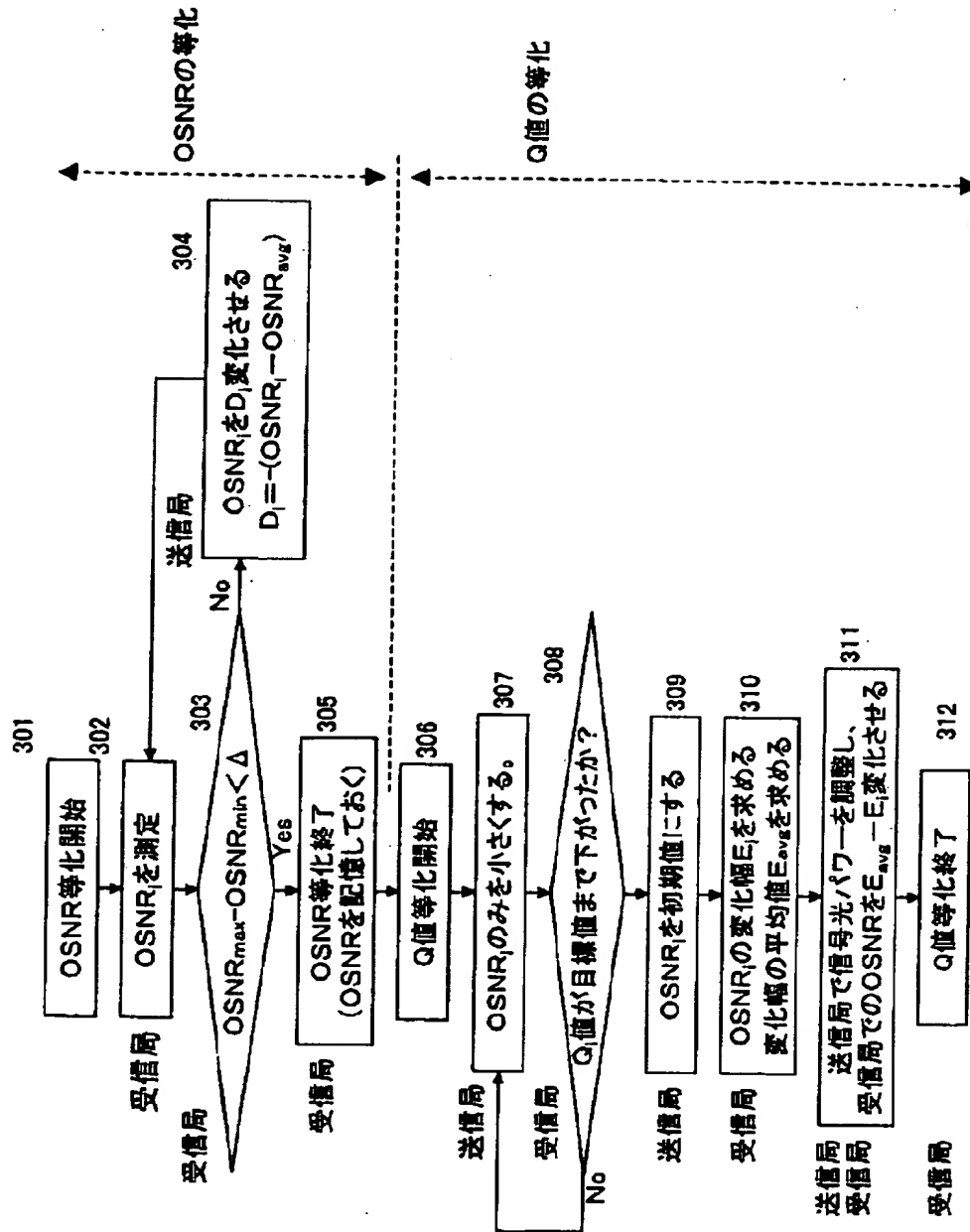
【図 9】

本発明の第1の実施例における制御動作のアルゴリズム  
 (運用開始前のフィルタとプリエンファシスによるQ値等化)  
 を示すフローチャート



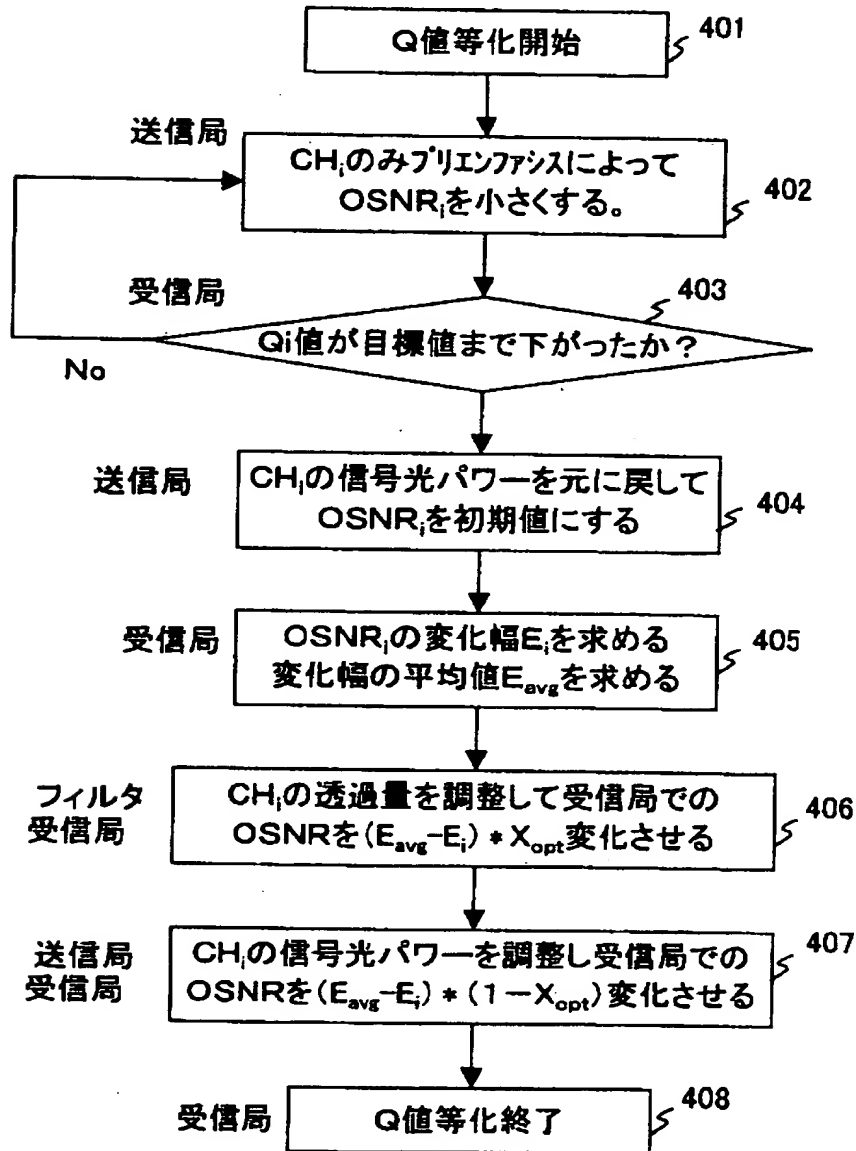
【図10】

図9におけるステップ203及び208の処理(プリエンファシスによるQ値等化)を更に詳細に示すフローチャート



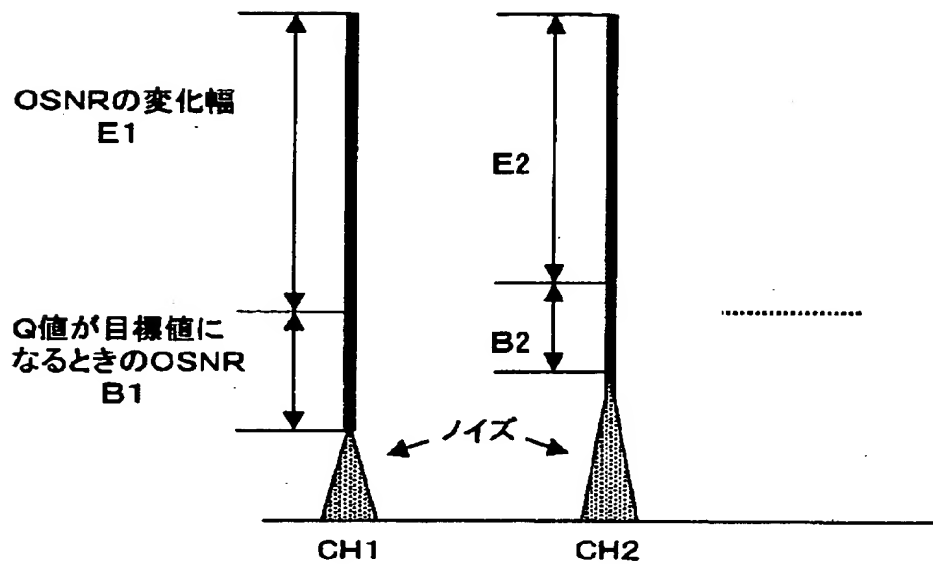
【図 1 1】

本発明の第1の実施例における制御動作のアルゴリズム  
(運用中におけるQ値等化)を示すフローチャート



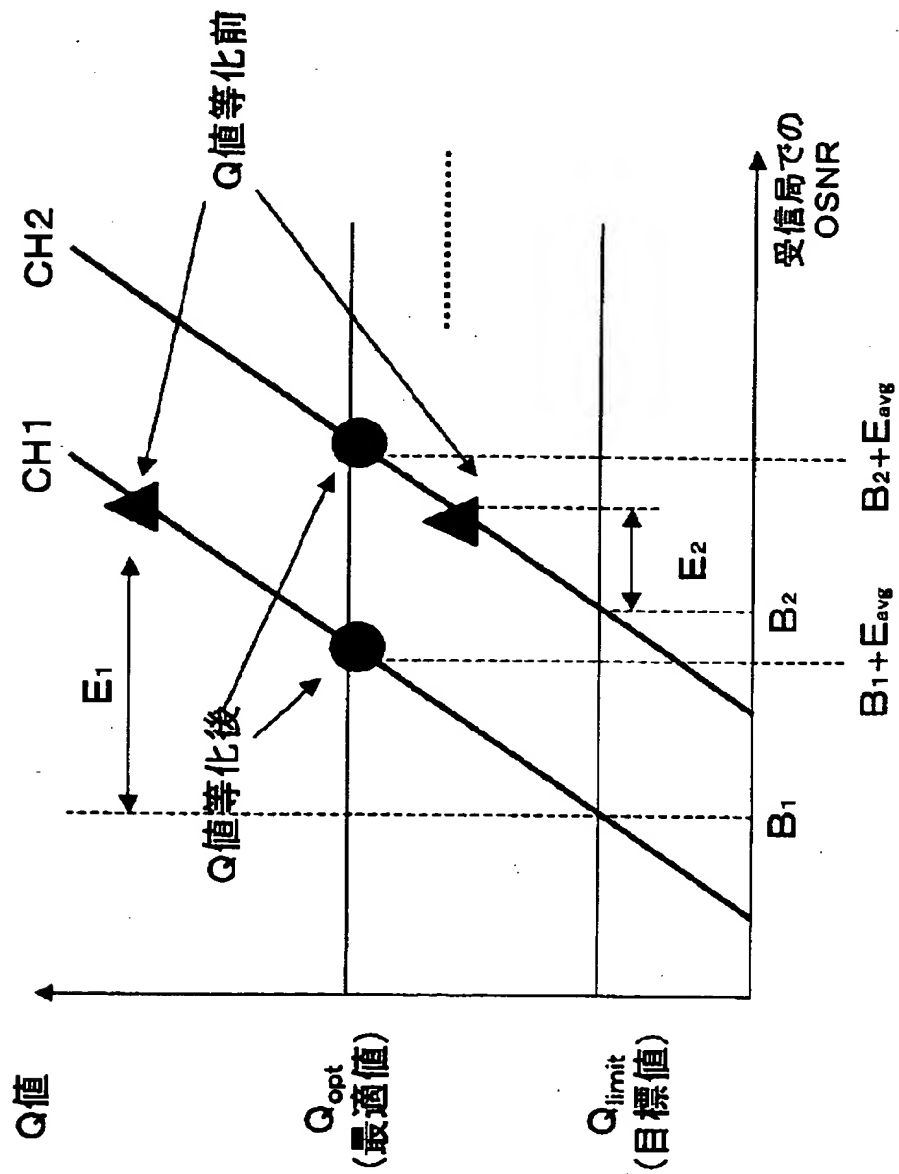
【図 1 2】

実際の信号波形上における $B_i$ ( $Q_i$ 値が目標値まで下がった時の $OSNR_i$ )と  
 $E_i$ ( $OSNR_i$ の変化幅)との関係を模式的に示す図



【図 13】

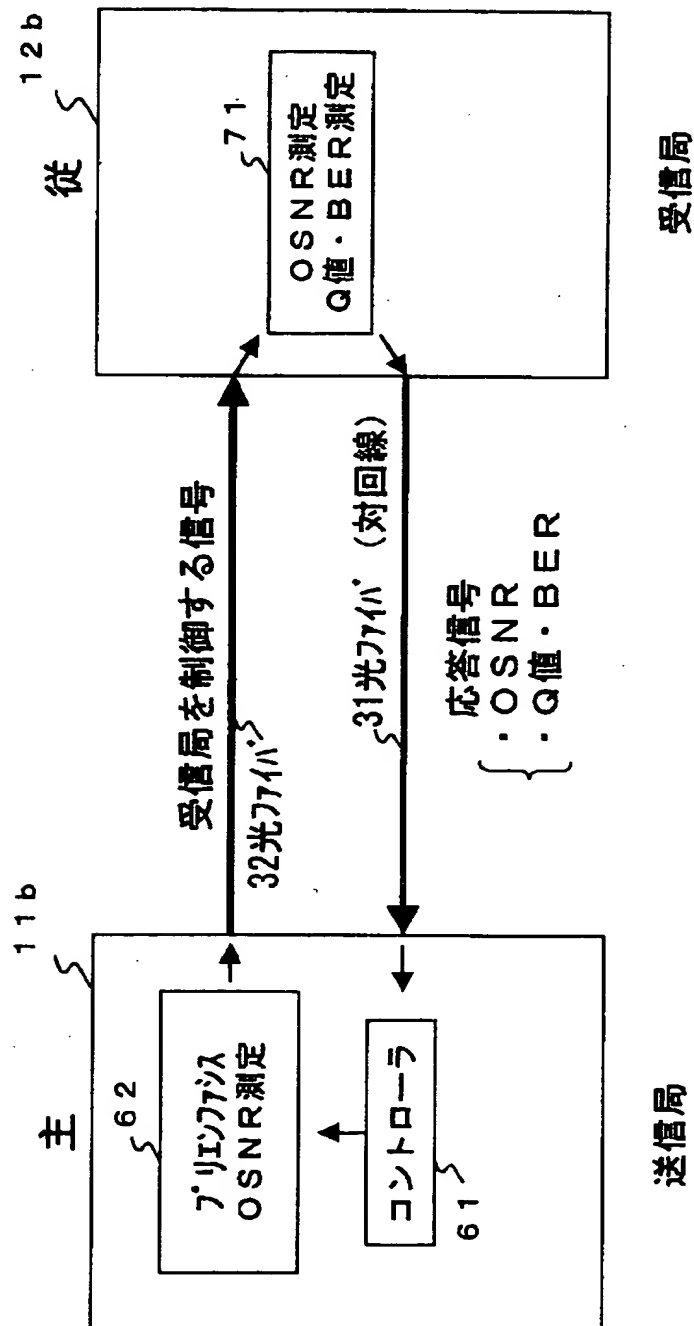
図8におけるステップ107～111までの操作を  
模式的に示した図





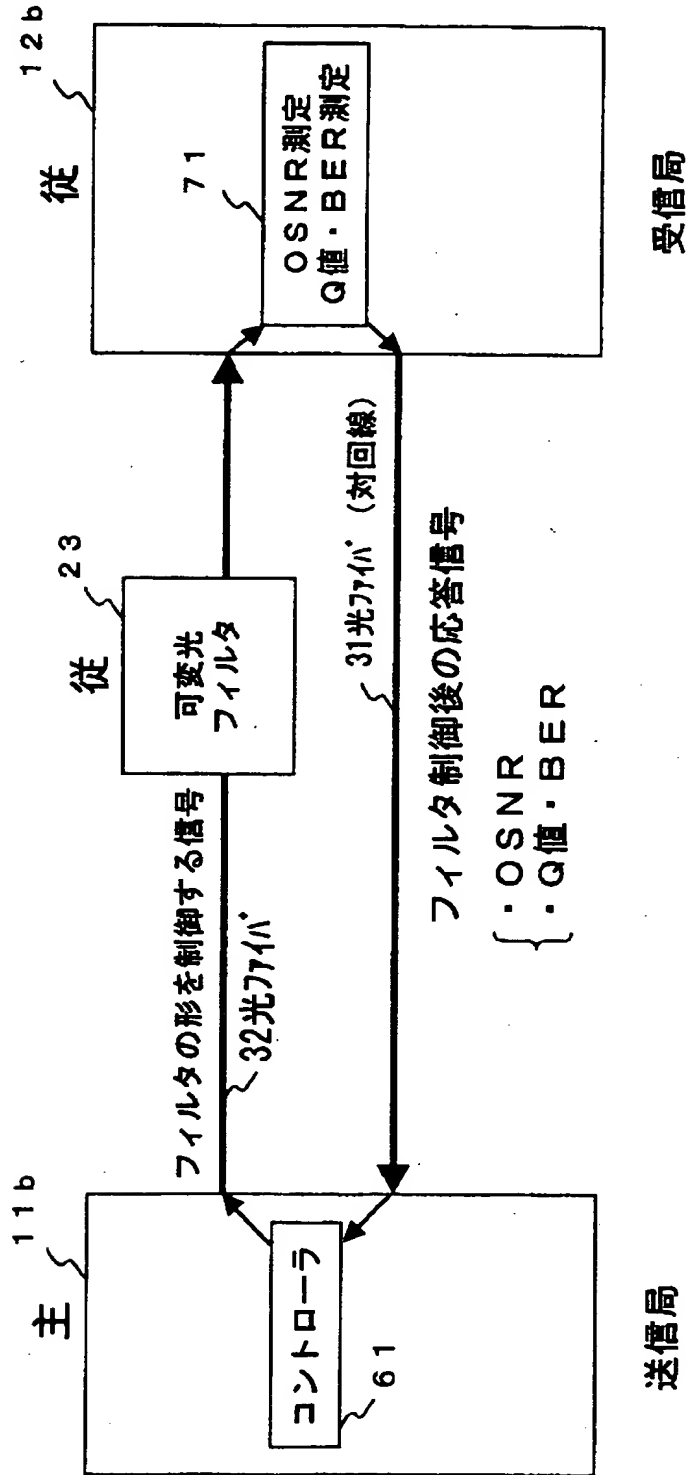
【図 1 4】

本発明の第 2 の実施例の全体動作を  
概略的に説明する概念図であって、送信局 11 b が  
受信局 12 b を制御する動作を説明する図



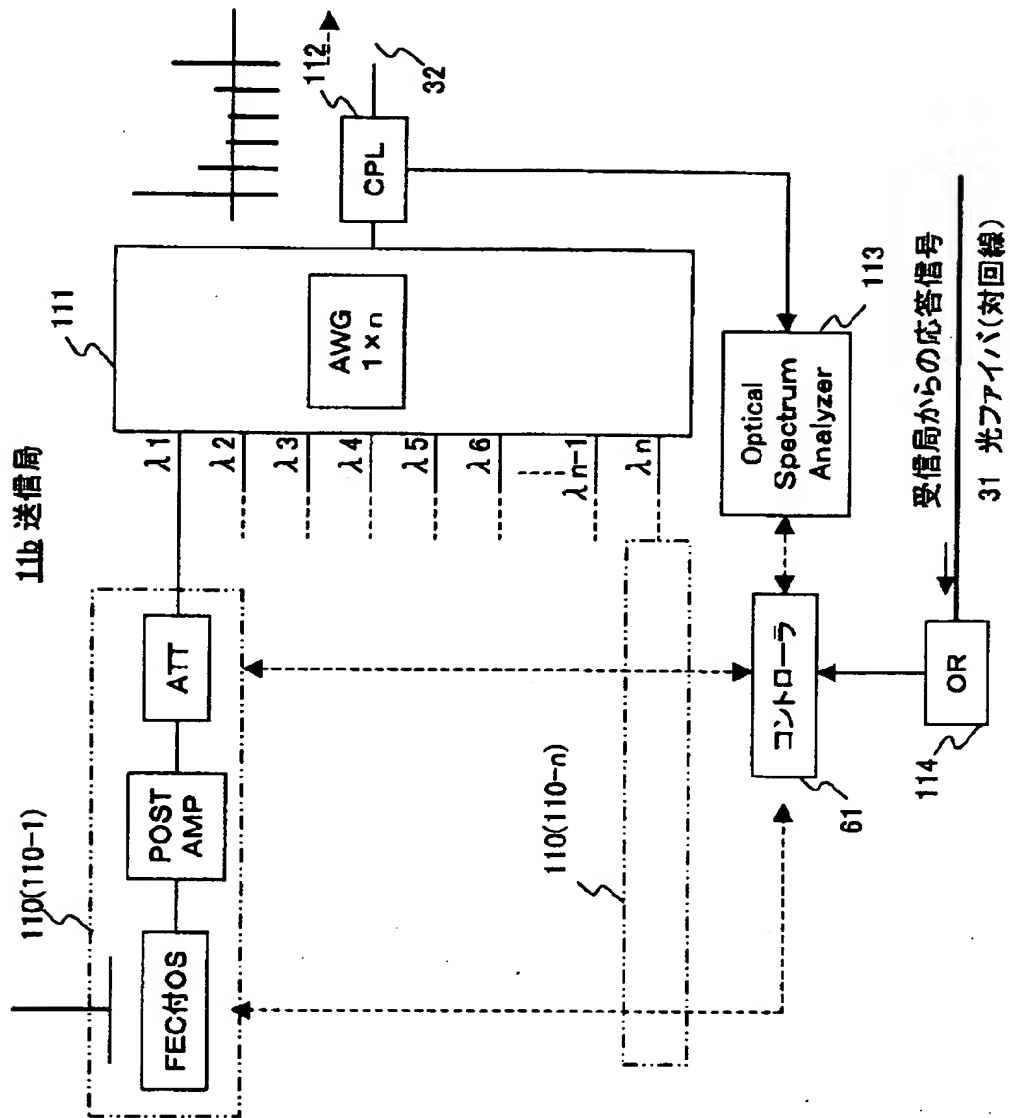
【図 1 5】

本発明の第2の実施例の全体動作を概略的に説明する  
概念図であって、送信局11bが可変光フィルタ23を  
制御する動作を説明する図



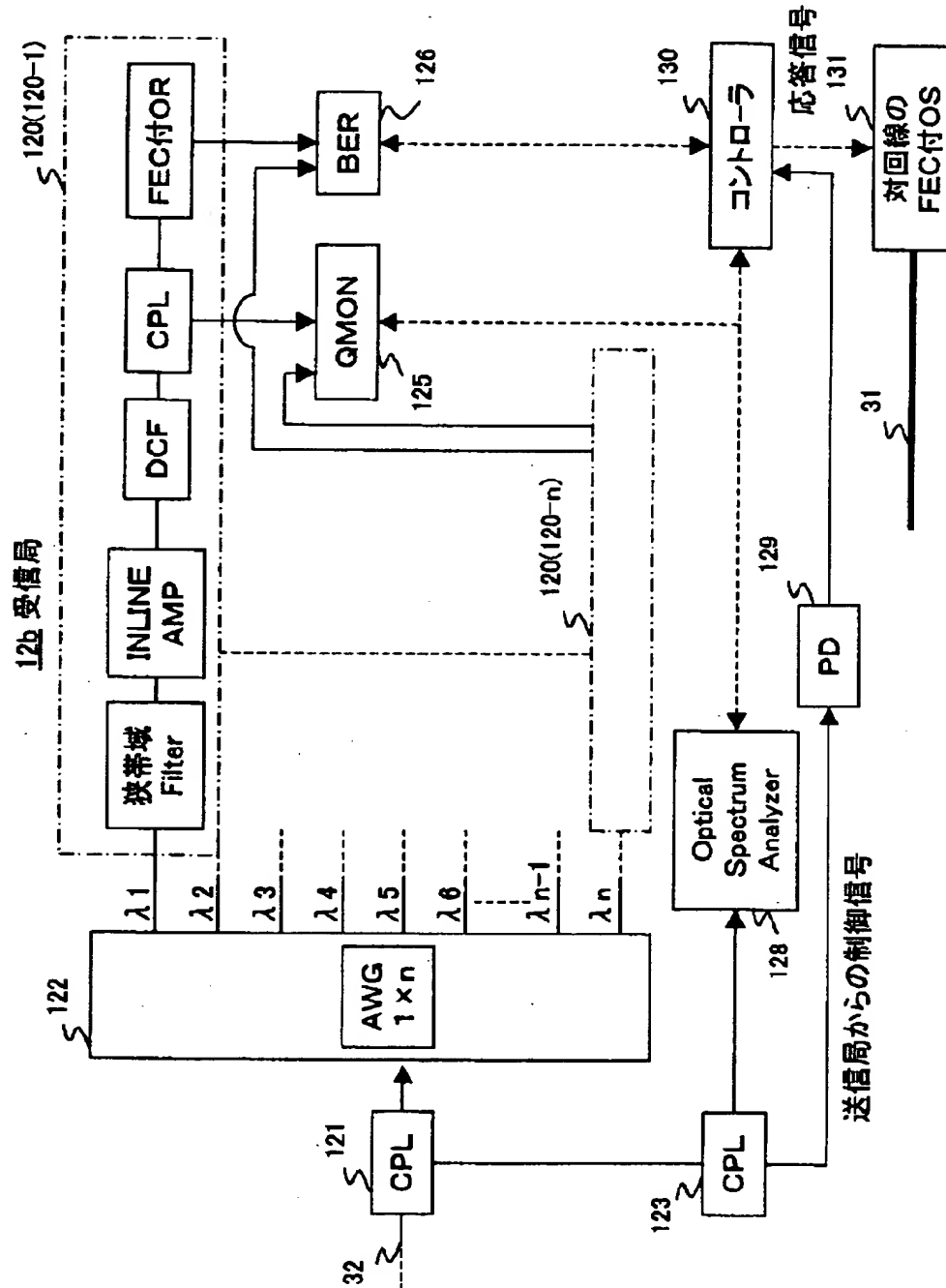
【図 16】

本発明の第2の実施例における送信局11bの一構成例を示す図



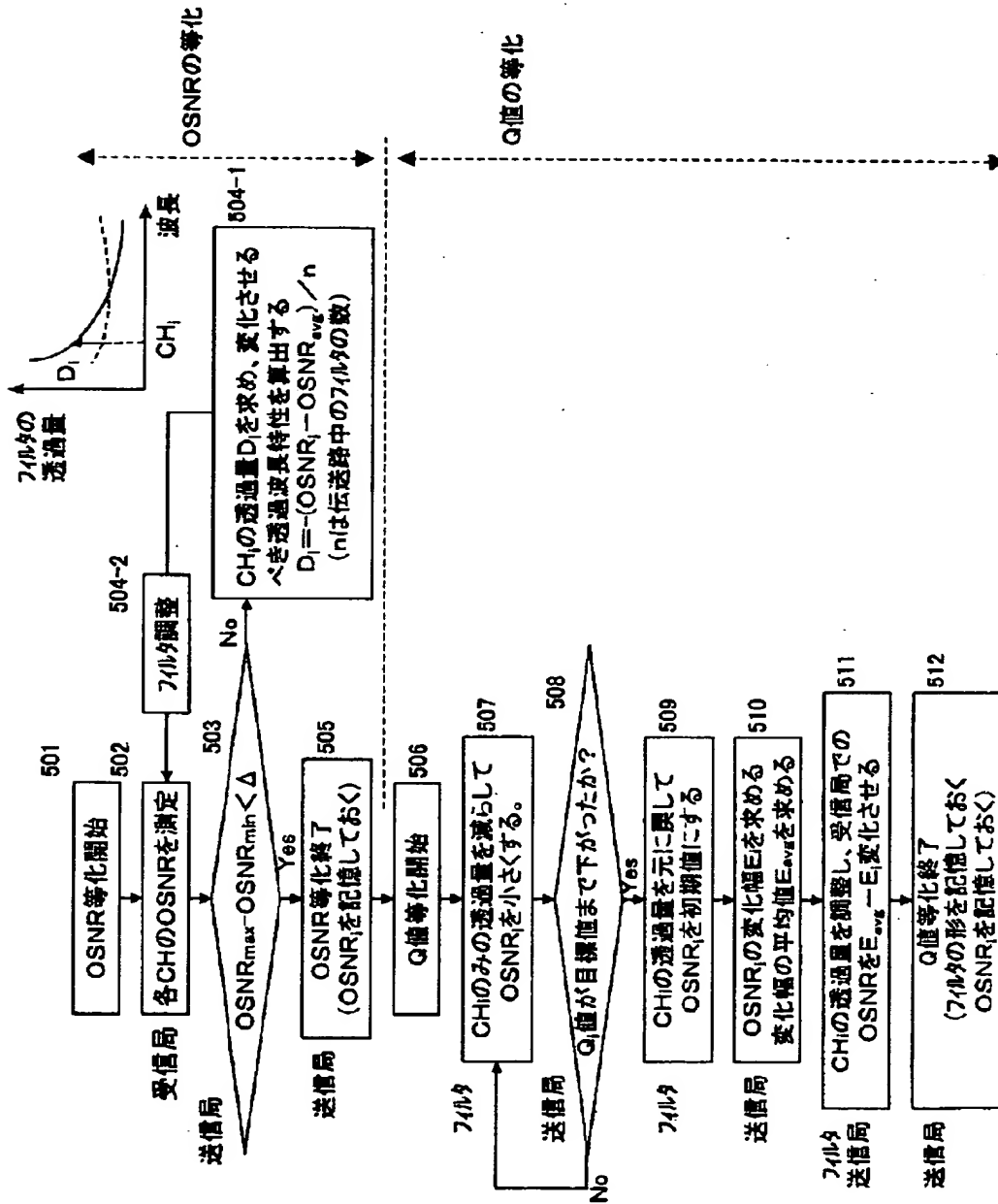
【図 17】

本発明の第2の実施例における受信局12bの一構成例を示す図



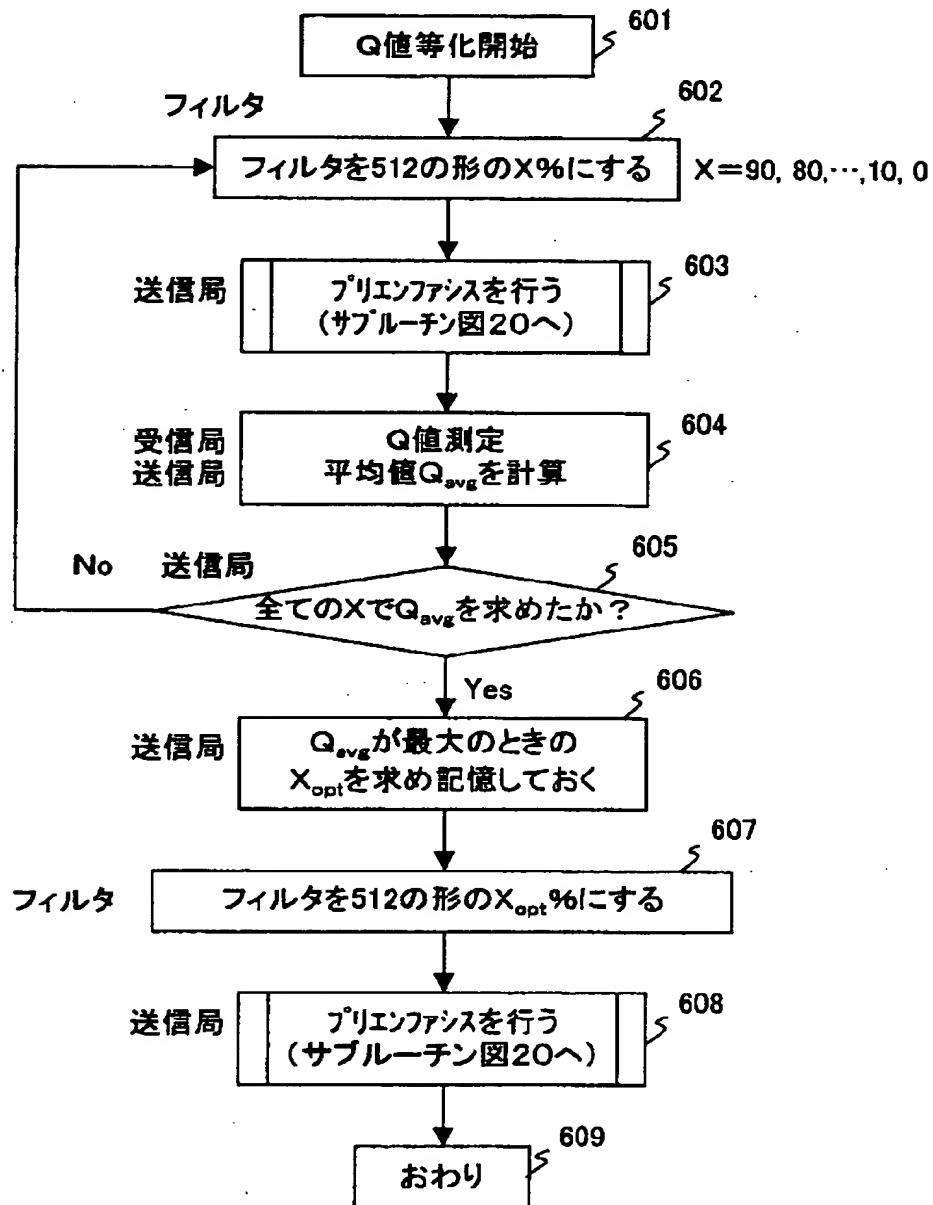
【図 1 8】

本発明の第2の実施例における制御動作のアルゴリズム  
(運用開始前のフィルタのみによるQ値等化)を示すフローチャート



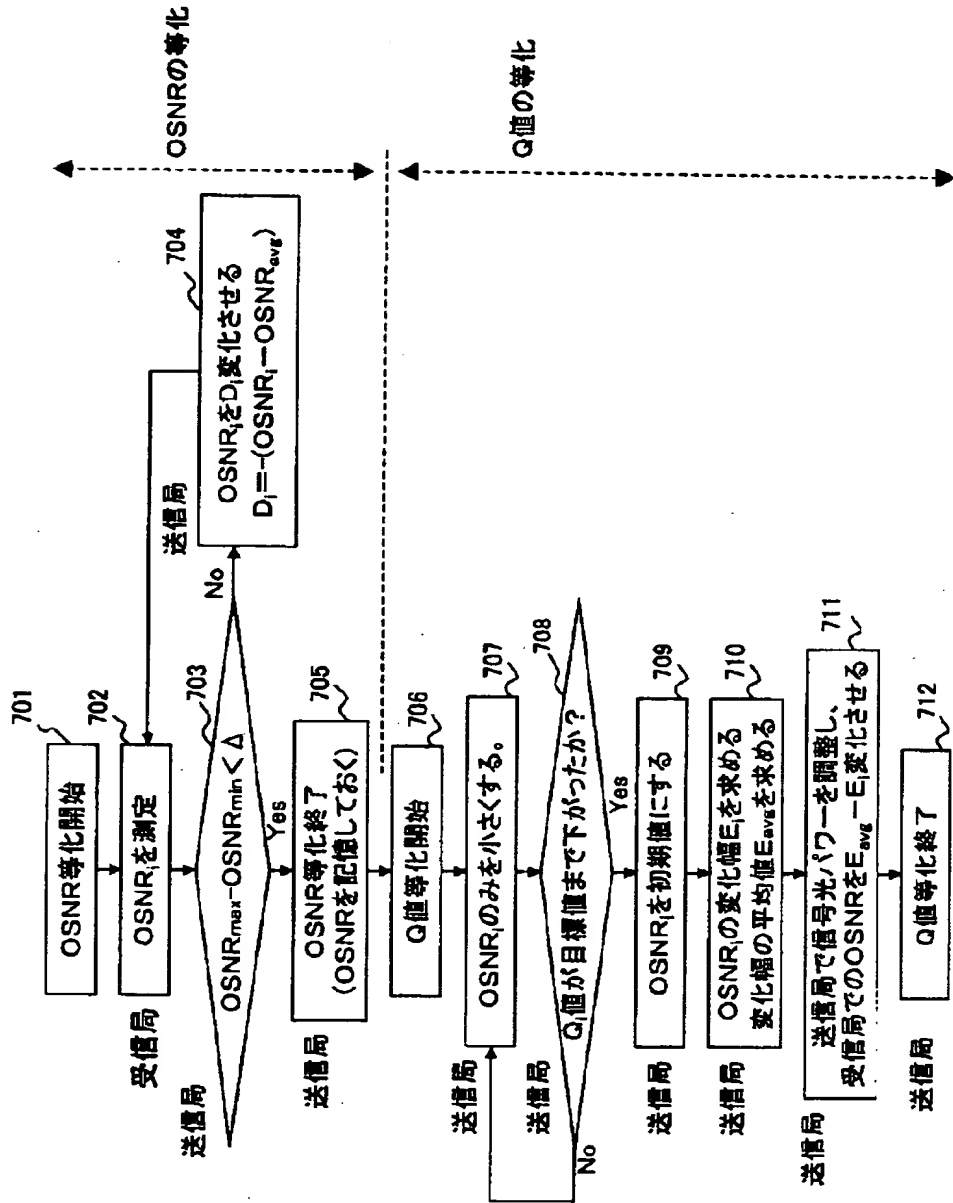
【図 1 9】

本発明の第2の実施例における制御動作のアルゴリズム  
 (運用開始前のフィルタとプリエンファシスによるQ値等化)  
 を示すフローチャート



【図 2 0】

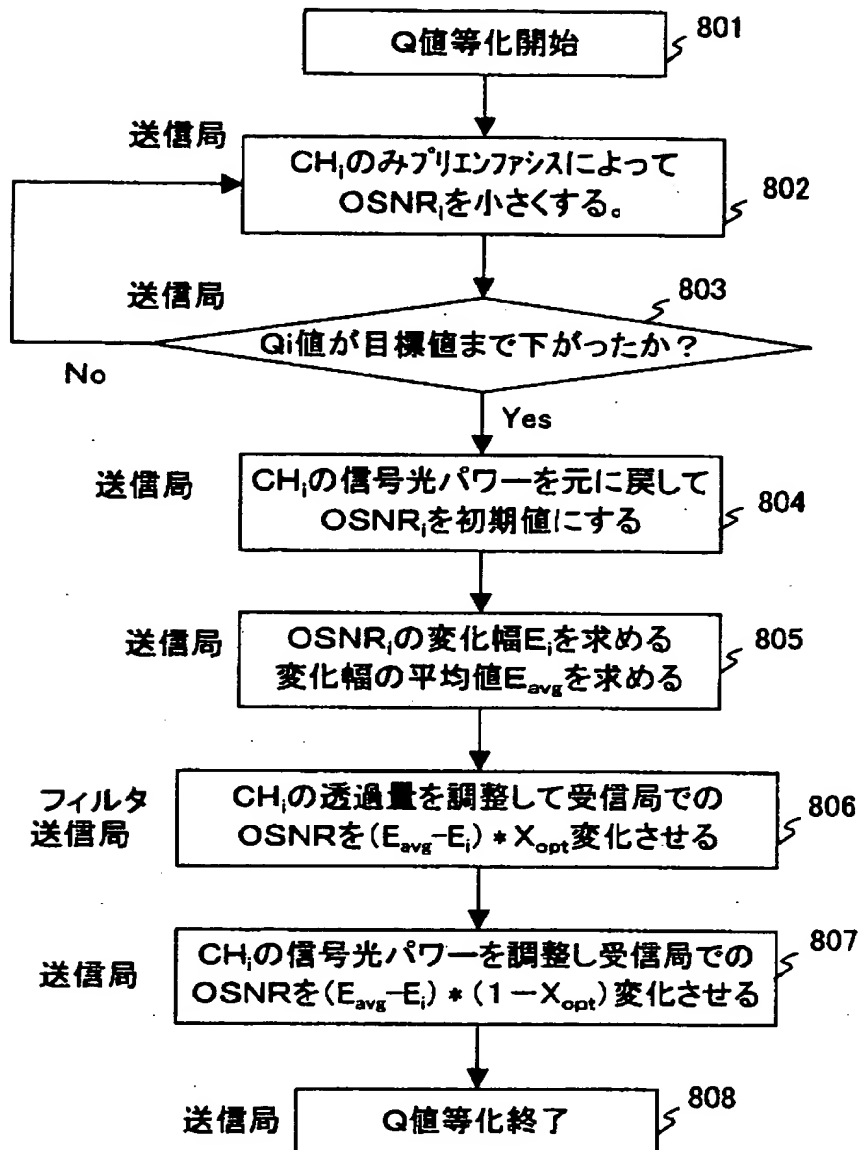
図19におけるステップ603及び608の処理(プリアンファンスによるQ値等化)を  
更に詳細に示すフローチャート





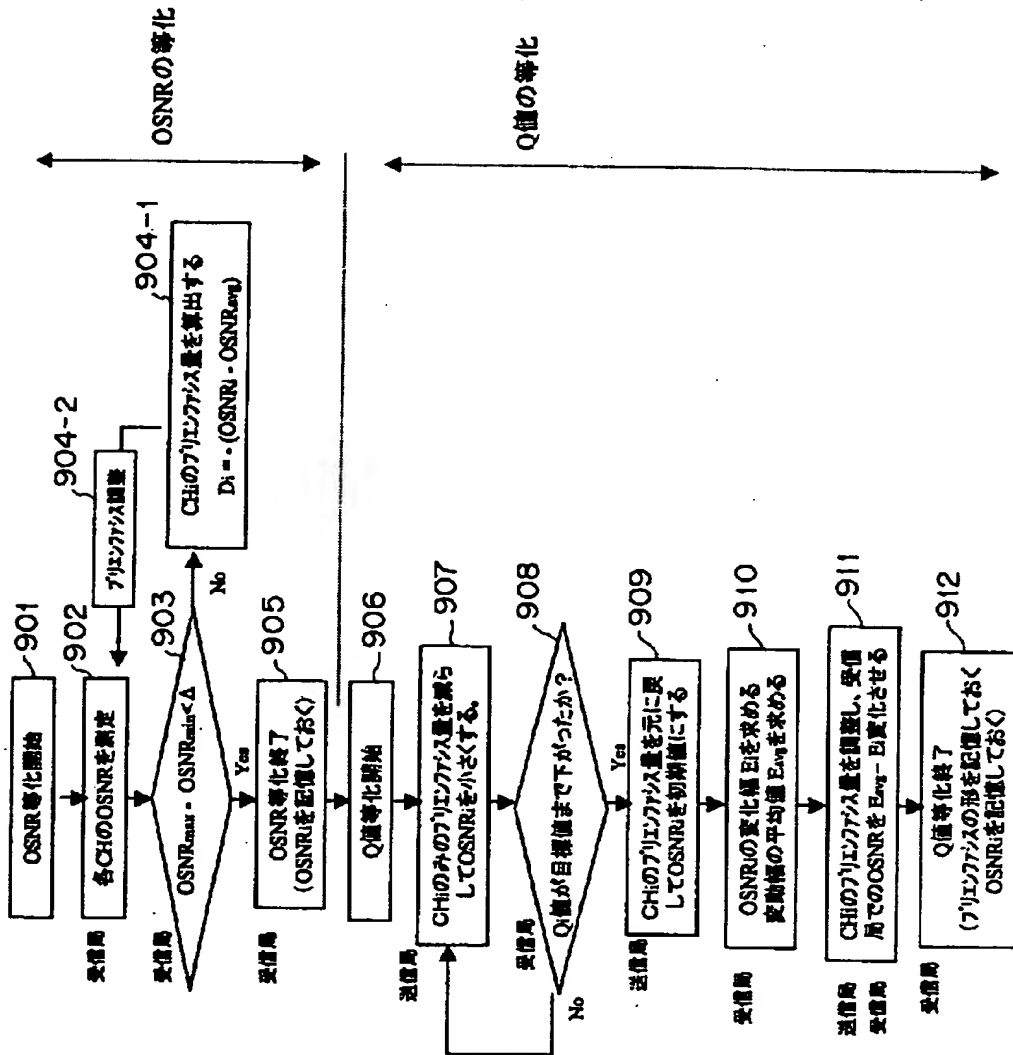
【図 2 1】

本発明の第2の実施例における制御動作のアルゴリズム  
(運用中におけるQ値等化)を示すフローチャート



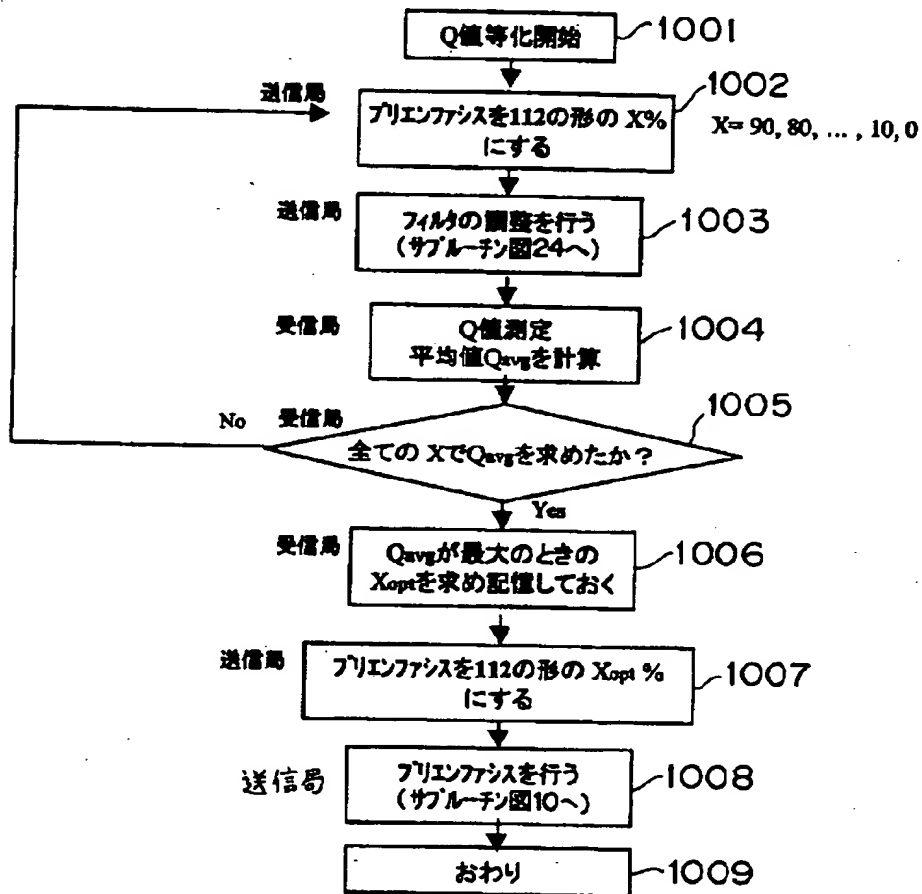
【図 22】

本発明の第3の実施例における制御動作のアルゴリズム  
(運用開始前のプリアンフィシのみによるQ値等化)  
フローチャート



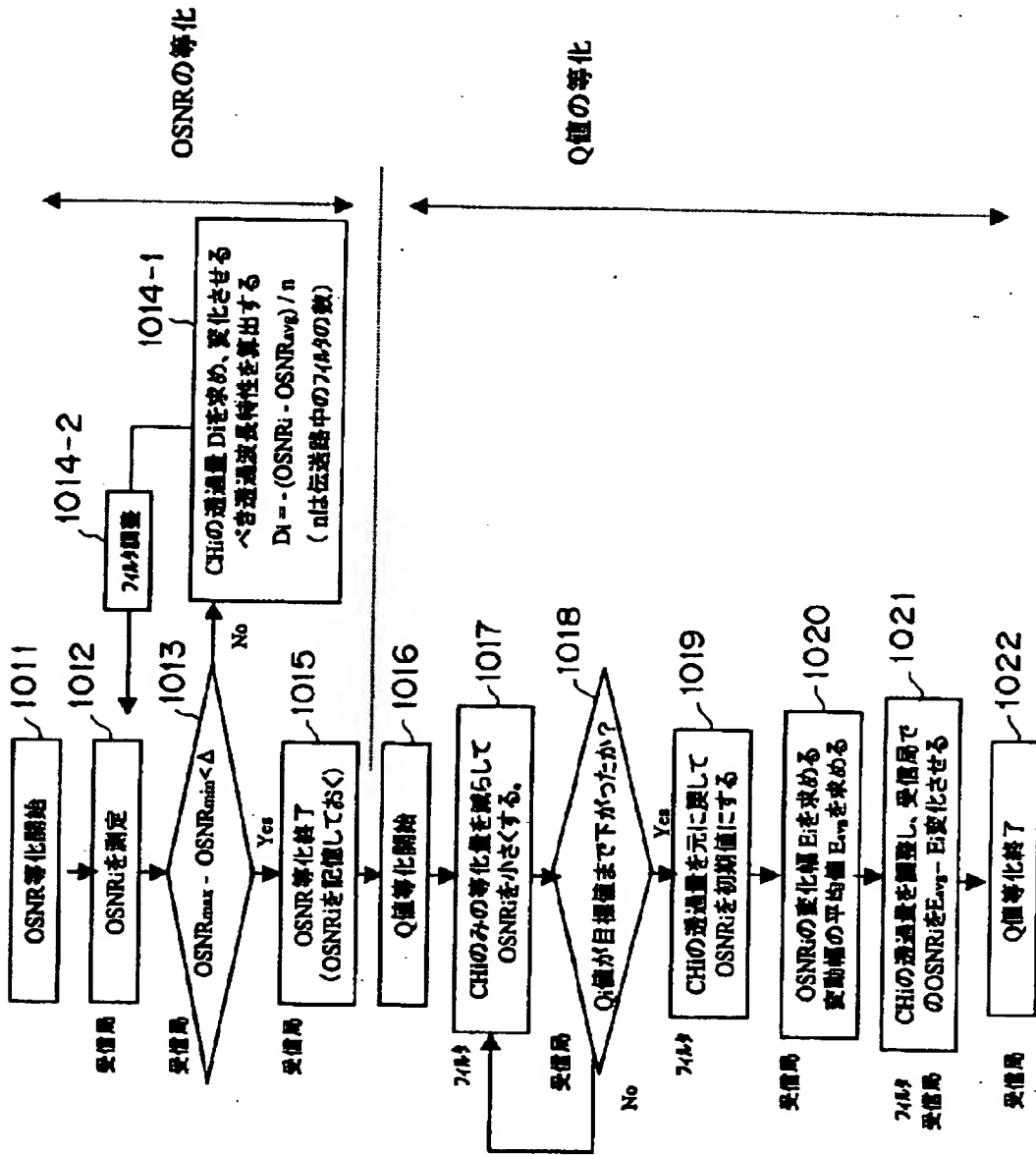
【図 2 3】

本発明の第3の実施例における制御動作のアルゴリズム  
 (運用開始前のフィルタとプリエンファシスによるQ値等化)を  
 示すフローチャート



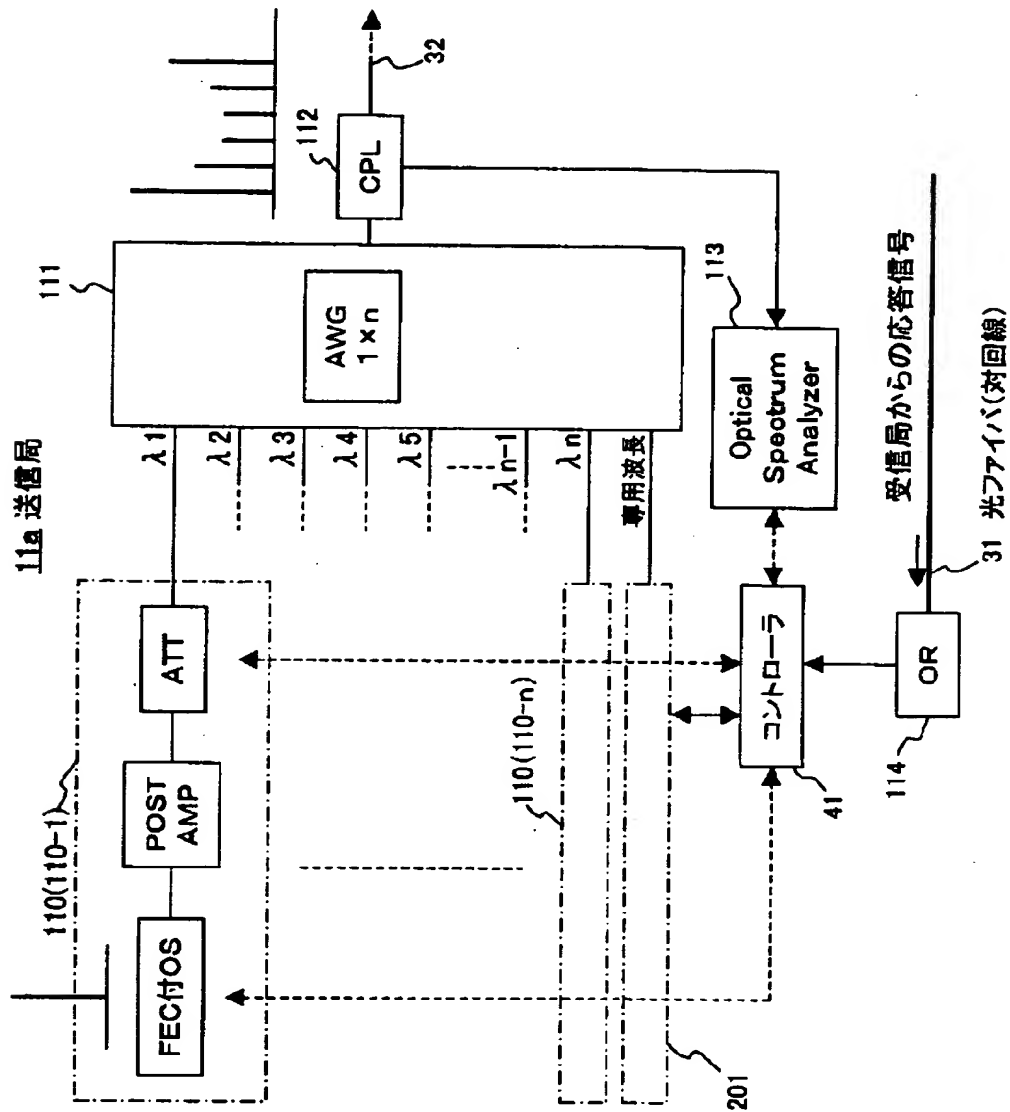
【図 24】

図23におけるステップ1003の処理(フィルタによるQ値等化)  
を詳細に示すフローチャート



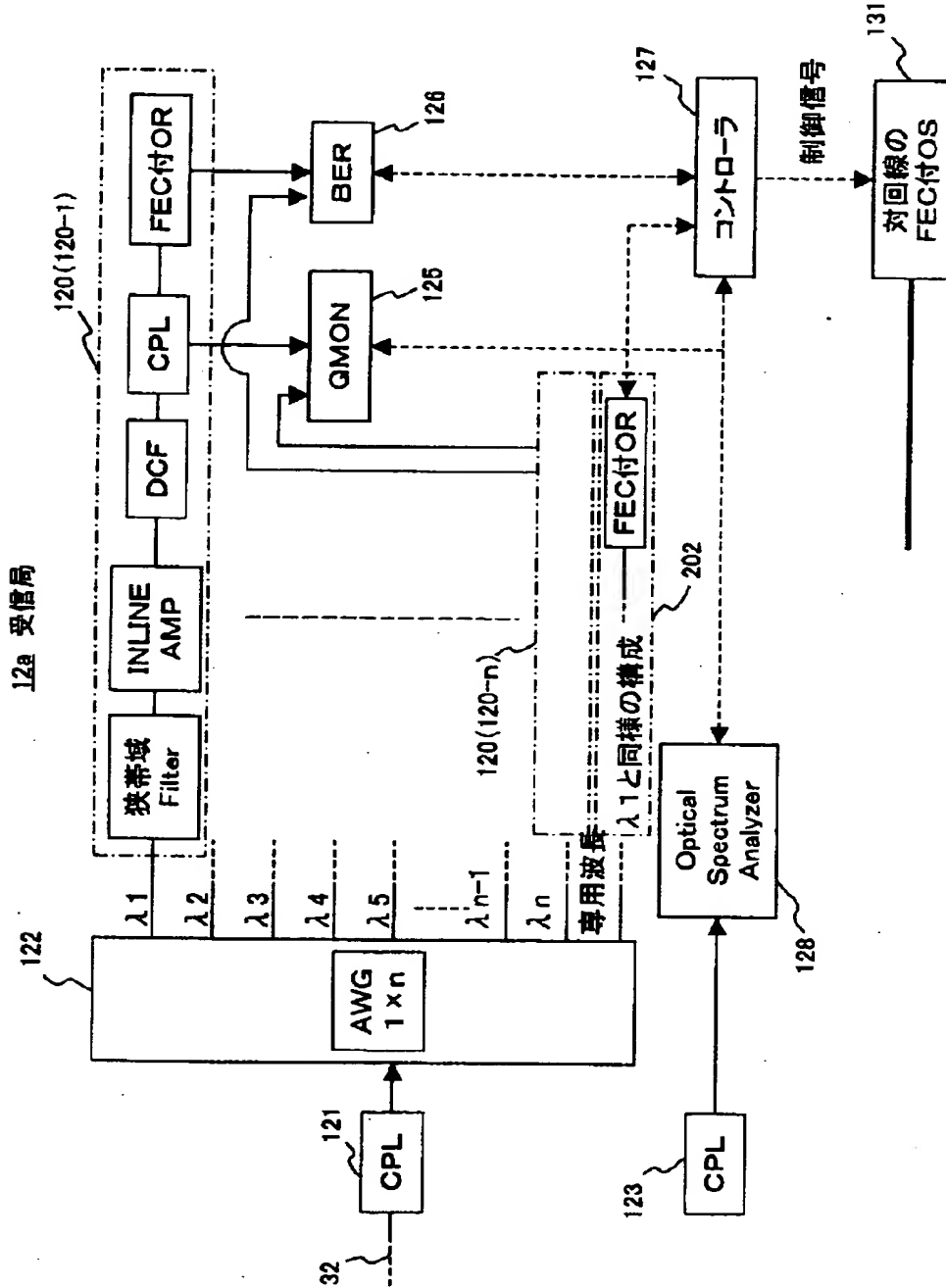
【図 25】

本発明の他の実施例における送信局の一構成例を示す図



【図 26】

本発明の他の実施例における受信局の一構成例を示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 WDM光通信システムにおいて、プリエンファシスへの負担を軽減しつつ、伝送特性を有効に均一化かつ最適化できるようにする。

【解決手段】 WDM光通信システムにおける送信局 1 1 と受信局 1 2 間に光伝送路として設けられた光ファイバ 2 1 の途中に、1 つ以上の可変光フィルタ 2 3 が配置される。この可変光フィルタ 2 3 は、その透過波長特性を可変制御可能な光フィルタである。受信局 1 2 では、光ファイバ 2 1 を伝搬されてくる光信号の各波長の伝送特性（例えば O S N R、Q 値等）を測定し、その測定結果を送信局 1 1 へ送信する。送信局 1 1 では、送られてきた測定結果に基づき、送信局 1 1 のプリエンファシスと可変光フィルタ 2 3 の透過波長特性の両方を適宜制御して、伝送特性の均一化を行う。その際、両制御の適切な配分割合を算出し、その配分割合に従ってそれぞれの制御を行うようにすることも可能である。なお、この場合の制御は、送信局 1 1 側を主とし、受信局 1 2 側及び可変光フィルタ 2 3 側を従とする制御であってもよく、また、受信局 1 2 側を主とし、送信局 1 1 側及び可変光フィルタ 2 3 側を従とする制御であってもよい。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
氏 名 富士通株式会社